Environnement Canada
Service canadien des forêts

Environment Canada
Canadian Forestry Service

DÉTERMINATION AU LABORATOIRE DES CARACTÉRISTIQUES DE PLUSIEURS SUBSTANCES IGNIFUGES ET EXTINCTRICES POUR COMBATTRE LES INCENDIES DE FORÊT

E. Stechishen, E. C. Little, et M. W. Hobbs

Rapport d'information
PI-X-11(F)

ISSN 0228-0736

DÉTERMINATION AU LABORATOIRE DES CARACTÉRISTIQUES DE PLUSIEURS SUBSTANCES IGNIFUGES ET EXTINCTRICES POUR COMBATTRE LES INCENDIES DE FORÊT

E. Stechishen, E. C. Little, et M. W. Hobbs

Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
Chalk River (Ontario) Canada

Rapport d'information PI-X-11(F)

1982

Publication autorisée par
le Ministre, Environnement Canada

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1982
N° de catalogue Fo46-11/11-1982F
ISSN 0228-0736
ISBN 0-662-91676-X

Des exemplaires de cette publication peuvent être
obtenus à l'adresse suivante:

Centre de distribution des publications
Institut forestier national de Petawawa
Environnement Canada
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

Ce rapport est une traduction du rapport Laboratory-determined Characteristics of Several Forest Fire Retardants and Suppressants.

This publication is also available in English under the title Laboratory-determined Characteristics of Several Forest Fire Retardants and Suppressants.

Table des matières

1 Résumé/Abstract

1 Introduction

2 Méthode

3 Résultats et discussion

3 Effet de la qualité de l'eau
6 Adhérence aux branches
8 Potentiel de stillation et de coulage
8 Taux d'évaporation
11 Évaluation de la performance
11 Taux d'hydratation

14 Résumé

15 Annexe I: Renseignements sur les produits

Figures

4 1. Exemple d'enregistrements de la perte de masse (évaporation) d'une branche d'épinette blanche traitée avec de l'eau puis une substance extinctrice
5 2. Effet de la dureté de l'eau sur la réduction de la viscosité apparente de quatre substances extinctrices
7 3. Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité de mélange qui adhère
9 4. Effet de la viscosité sur la stillation et le coulage après l'épandage
10 5. Effet de la viscosité sur la diminution du taux d'évaporation des substances ignifuges ou extinctrices
13 6. Vitesse d'hydratation des agents épaississants de l'eau

Tableau

12 1. Classement des produits

DÉTERMINATION AU LABORATOIRE DES CARACTÉRISTIQUES DE PLUSIEURS SUBSTANCES IGNIFUGES ET EXTINCTRICES POUR COMBATTRE LES INCENDIES DE FORÊT

Résumé

Six additifs actuellement disponibles au Canada pour leur utilisation dans le combat de feux de forêt de même qui deux produits susceptibles d'être utilisés à cette fin ont été étudiés en laboratoire. Les essais ont fourni des données sur les effets de la dureté de l'eau sur la viscosité du mélange, sur les rapports entre le taux de dilution et la viscosité, sur les caractéristiques de stillation et de coulage, sur les variations de la vitesse d'évaporation dues aux additifs et sur les propriétés adhérentes des divers mélanges. D'après le classement numérique de ces produits, aucun n'était de rendement excellent; avant d'utiliser une préparation extinctrice ou ignifuge, il faut déterminer les besoins actuels, puis choisir le produit qui convient le mieux à ces besoins.

Abstract

Six water-additive products currently available for use in Canada in forest fire suppression and two potentially useful products were evaluated under laboratory conditions. The test trials provided data on the effects of water hardness on mix viscosity, the mix ratio/viscosity relationships, the drip and run characteristics, the changes in evaporation rates due to the additives, and the adhesive characteristics of the various mixes. The numerical ranking of products indicated that no one product excelled in performance, hence the use of any suppressant/retardant depends on first identifying the field needs, then selecting the product that best meets the objectives.

Introduction

Les produits ignifuges utilisés pour l'extinction des incendies de forêt ont été classés en produits à court ou long terme selon l'influence qu'avaient les additifs eux-mêmes sur la combustion. Ceux qui modifient le processus de pyrolyse par interaction chimique sont dits ignifuges à long terme, alors que les ignifuges à court terme ne sont que des modificateurs d'eau, celle-ci étant le seul agent d'extinction. Dans ce texte l'expression utilisée pour l'eau épaissie (ignifuge à court terme) est "substance extinctrice".

Les additifs utilisés actuellement dans l'extinction des incendies confèrent à l'eau une nouvelle série de caractéristiques lorsqu'ils forment des mélanges, des bouillies ou des gels. Le degré d'altération de la fluidité de l'eau dépend du taux de dilution et de la qualité de l'eau. La plupart des additifs sont sensibles aux ions salins et leur aptitude à augmenter la viscosité diminue au fur et à mesure que la dureté de l'eau augmente. On a utilisé des eaux ayant une dureté totale allant de 1 à 665 mg/L (en $CaCO_3$) pour préparer les différents échantillons nécessaires pour évaluer l'effet de la dureté de l'eau sur les caractéristiques des préparations ignifuges et extinctrices.

Des branches d'épinette blanche (Picea glauca (Moench) Voss) séchées à l'air ont été traitées avec des mélanges d'eau et de substances ignifuges ou extinctrices pour déterminer les caractéristiques d'adhérence, "de stillation et de coulage", et d'évaporation pour chaque branche en particulier.

Approbation pour publication du manuscrit: Août 1980.

E. Stechishen est chargé de recherches et E.C. Little et M.W. Hobbs sont techniciens de laboratoire à l'Institut forestier national de Petawawa.

Méthode

Branches utilisées

Des branches d'épinette blanche, dont la longueur était de 30 à 50 cm et la masse de 10 à 40 g, selon la densité des ramilles, ont été séchées à l'air jusqu'à ce que toutes les aiguilles tombent. Elles ont ensuite été préconditionnées dans une enceinte de conditionnement à température et humidité relative (HR) données, jusqu'à ce que l'on atteigne l'équilibre dans la teneur en humidité. La préconditionnement a été fait à 28°C et à une HR de 32 ou 45 pour cent, selon les exigences des tests particuliers.

Préparations ignifuges et extinctrices

Les produits soumis à l'évaluation étaient des substances ignifuges et extinctrices sur le marché, utilisées actuellement par les organismes provinciaux de lutte contre les incendies, et des substances extinctrices potentielles fournies par les fabricants à des fins d'évaluation. Les produits et les taux de dilution (en masse) étaient les suivants:

*Produit**	*Quantité en pourcentage*
Monsanto STR	0,25 à 0,70
Gelgard 60	0,26 à 0,50
Tenogum	0,10 à 0,75
Polymer XAP-104	0,10 à 0,60
Polymer 35-A-100	0,50 à 1,00
Poly-Trol 200	0,25 à 1,40
Fire-Trol 100	30 à 35
Fire-Trol 937B	0,25 à 0,75
Phos-Chek XB	10 à 15

*La mention d'une marque de produit du commerce n'implique pas que le produit soit recommandé par le Service canadien des forêts.

Pour préparer les échantillons on a utilisé des eaux ayant une dureté totale de 1, 5, 19 et 665 mg/L (en $CaCO_3$), préparées en diluant des eaux de puits très dures avec de l'eau distillée afin d'obtenir les concentrations désirées. Les échantillons ont été préparés en ajoutant une masse prédéterminée de substance ignifuge ou extinctrice à 3 L d'eau et en mélangeant soigneusement avec un agitateur Fisher Stedi-Speed.

Appareillage

L'équipement périphérique utilisé avec l'enceinte de conditionnement comprenait une balance électronique Mettler et un appareil enregistreur à bande Honeywell Electronik 196. La balance était montée au-dessus de l'enceinte et le crochet de suspension passait par une ouverture pratiquée dans le plafond et descendait de 30 cm dans l'enceinte. La température, l'humidité relative, et le signal de la balance (masse) étaient continuellement enregistrés.

La quantité appropriée de produit nécessaire pour chaque dilution était pesée sur une balance Sartorius 2200 à plateau sur le dessus et le mélange était fait avec un mélangeur Fisher Stedi-Speed. Une fois la consistance désirée obtenue, la viscosité apparente de chaque mélange était mesurée à l'aide d'un viscosimètre Brookfield, modèle LVF, à 6, 12, 30, et 60 tr/min avec des mobiles numéro 1, 2, 3, et 4.*

Méthodes expérimentales

Chaque branche utilisée dans le processus d'évaluation des substances ignifuges et extinctrices a été soumise aux étapes expérimentales suivantes:

1. Suspendre la branche au crochet de la balance dans l'enceinte de conditionnement et noter la masse séchée à l'air.
2. Retirer la branche de l'enceinte de conditionnement; la tenir verticalement dans la cabine de pulvérisation et pulvériser de l'eau pendant 10 s, en tournant la branche afin de s'assurer qu'elle soit couverte partout.
3. Remettre la branche sur le crochet de la balance dans l'enceinte de condi-

*La relation entre l'effort et le taux de cisaillement n'est pas linéaire pour les substances ignifuges et extinctrices.

tionnement et commencer le contrôle et l'enregistrement de la perte de masse; arrêter lorsque les branches sont revenues à la masse séchée à l'air.

4. Répéter les étapes 2 et 3 en pulvérisant cette fois un mélange ignifuge ou extincteur, puis jeter la branche.

Acquisition des données

Les reproductions, montrées dans la figure 1, de parties de deux enregistrements de l'évaporation pour une branche donnée dépeignent les tendances du séchage. Dans la figure on peut identifier la masse de la branche séchée à l'air (ΣAD), la quantité totale d'eau (ΣH_2O) et de substance extinctrice (ΣRET) pulvérisées adhérant à la branche, les parties de courbe représentant la perte de masse due à une combinaison de l'évaporation, de la stillation et du coulage (EDR) et les parties de courbe où les pertes de masse sont dues à l'évaporation seule (EVAP). Les valeurs dérivées et mises sous forme de tableau à partir de ces courbes de séchage sont utilisées pour calculer l'augmentation en pourcentage de la quantité de substance ignifuge ou extinctrice qui a adhéré, la diminution en pourcentage du taux d'évaporation des mélanges ignifuges ou extincteurs, et le pourcentage de stillation et de coulage basé sur la quantité totale restée sur la branche 30 s après pulvérisation. Les augmentations ou pertes de substances ignifuges ou extinctrices ont été calculées en relation avec la quantité d'eau adhérente et le taux de séchage de chaque branche particulière.

Résultats et discussion

Effet de la qualité de l'eau

La qualité de l'eau utilisée pour réaliser les mélanges a un effet important dans la plupart des case sur la viscosité apparente du produit final. L'effet de la dureté de l'eau sur la capacité d'épaississement de quatre substances extinctrices a été déterminé en utilisant différentes proportions d'eau distillée (<1 mg/L en $CaCO_3$) et d'eau très dure (665 mg/L en $CaCO_3$) (fig. 2).* Les viscosités apparentes (mobile n° 3 à 60 tr/min, sauf indication contraire) pour le Gelgard 60, le Tenogum, et le Poly-Trol 200 diminuaient rapidement au fur et à mesure que la dureté augmentait, mais les mélanges avec Monsanto STR n'étaient modifiés que marginalement. La baisse de la viscosité globale en allant de l'eau douce à l'eau très dure pour le STR était seulement de 7 pour cent, ce qui fait que ce produit est compatible avec toutes les eaux sans perte appréciable des caractéristiques d'augmentation de la viscosité. Les pertes respectives de viscosité apparente pour le Tenogum, le Poly-Trol 200 et le Gelgard 60 avec des duretés d'eau de 40 mg/L étaient de 34, 34, et 74 pour cent. Avec une dureté d'eau de 80 mg/L, les pertes étaient de 43, 58, et 87 pour cent et elles ont augmenté à 50, 75, et 95 pour cent lorsque la dureté de l'eau atteignait 120 mg/L. Les carbonates dans l'eau agissent lorsque la dureté de l'eau est faible, et si les baisses de viscosité apparente n'étaient que marginales pour le Tenogum, elles étaient importantes pour le Poly-Trol 200. L'augmentation des teneurs en carbonate s'est avérée désastreuse pour le Gelgard 60. Ceci illustre la nécessité d'ajuster le taux de dilution de chaque produit particulier en fonction de la qualité de l'eau afin de maintenir le niveau de viscosité jugé le meilleur pour satisfaire aux besoins de l'utilisateur.

Les produits qui sont sensibles à la dureté de l'eau et au taux de dilution, ce qui veut dire que leur viscosité apparente diminue de façon importante au fur et à mesure que la dureté de l'eau s'élève et qu'elle augmente de façon importante pour chaque petit accroissement du taux de dilution, ne conviennent pas aux utilisations sur le terrain si l'on ne dispose pas d'une base fixe pour faire le mélange.

*En termes de dureté totale en $CaCO_3$ les eaux sont classées comme suit: <30 mg/L, très douce; 31-60 mg/L, douce; 61-120 mg/L, dureté moyenne; 121-180 mg/L, dure; et >181 mg/L, très dure.

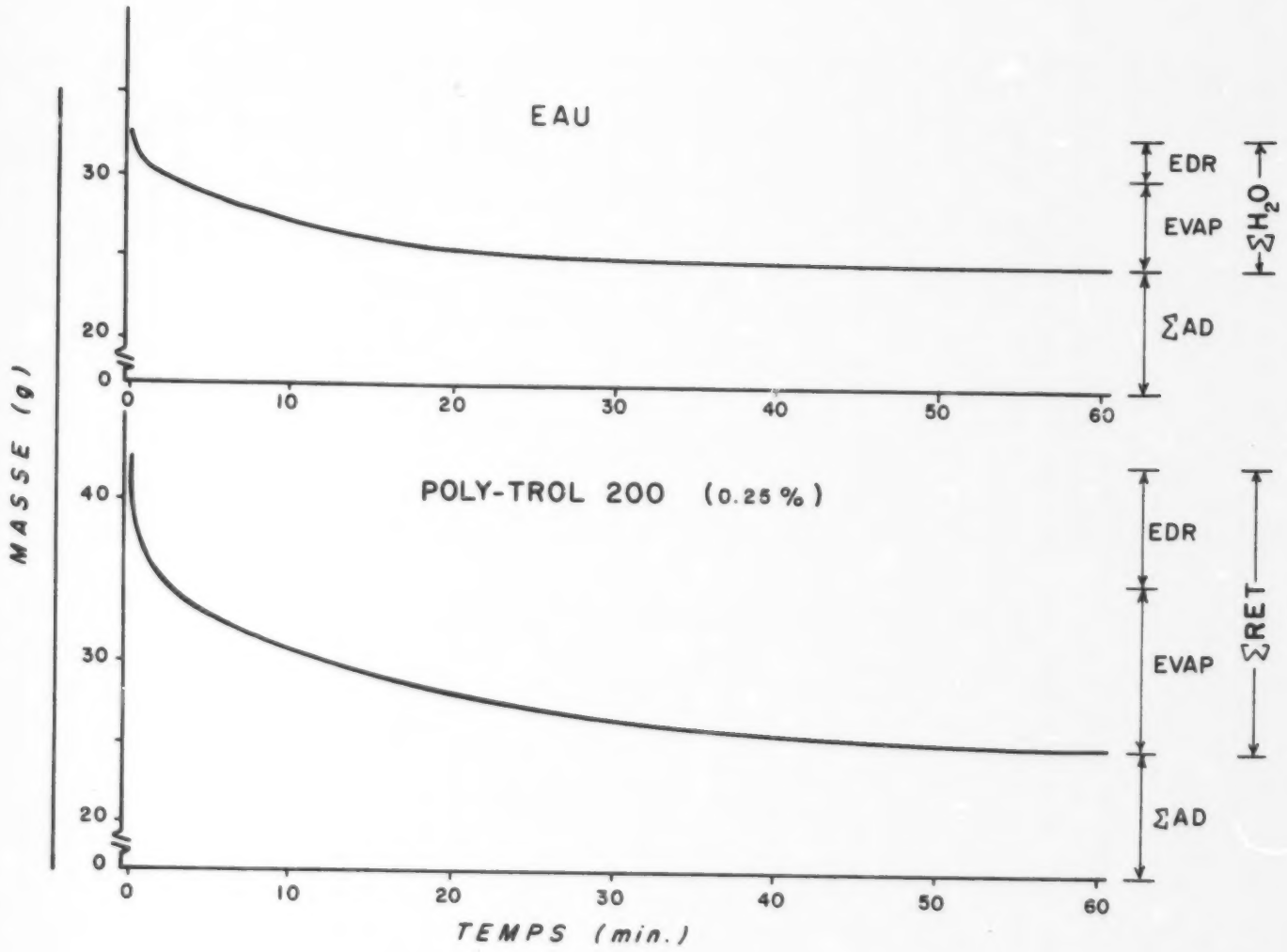

Figure 1. Exemple d'enregistrements de la perte de masse (évaporation) d'une branche d'épinette blanche traitée d'abord à l'eau, puis avec une substance extinctrice (Poly-Trol 200) et séchée à 28°C et HR de 45 pour cent.

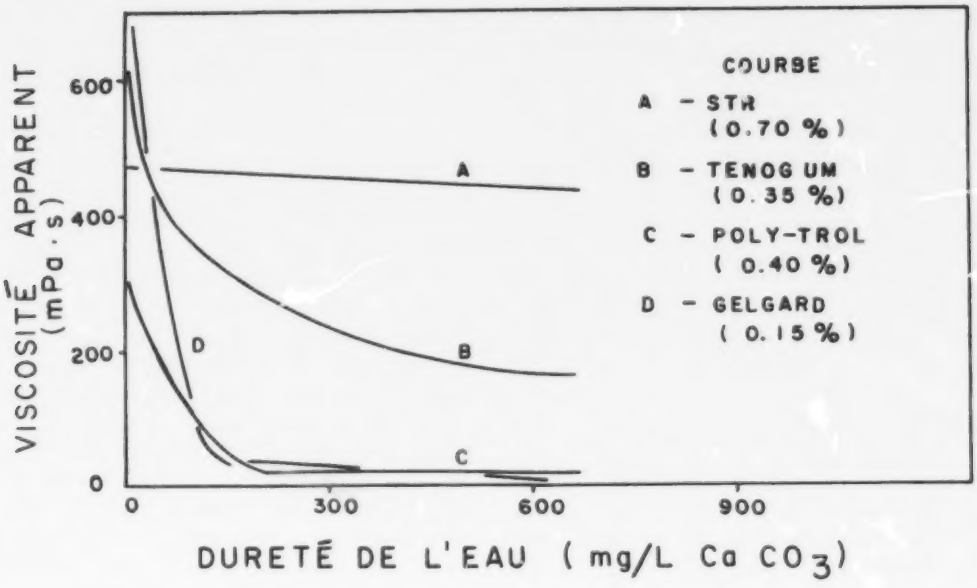

Figure 2. Effet de la dureté de l'eau sur la réduction de la viscosité apparente de quatre substances extinctrices.

Non seulement la mesure de ces produits doit-elle être précise, mais la qualité de l'eau brute utilisée doit être connue. Les produits montrant de telles caractéristiques critiques de mélange sont le Gelgard 60 et les polymers XAP-104 et 35-A-100 (figs. B1, D1, et E1, annexe I). L'utilisation de ces produits dans les systèmes à bord des avions-citernes amphibies qui utilisent normalement la source d'eau la plus proche ne serait pas possible, à moins que des observateurs compétents au sol n'aient évalué la qualité de la charge utile et fourni au pilote des renseignements pour ajuster le taux de dilution.

La gamme de travail du Poly-Trol 200 donne une certaine liberté en ce qui concerne les ajustements entre la dureté de l'eau et le rapport de dilution, par conséquent, des guides d'utilisation appropriés, fonction de l'aire traitée, pourraient être préparés pour servir pendant les opérations sur le terrain. Pour atténuer l'impact de la dureté de l'eau sur la viscosité apparente du Poly-Trol 200, on a utilisé une formulation renforcée connue sous le nom de FT-937B fournie à des fins expérimentales. Lorsque l'on a utilisé de l'eau ayant une dureté de 665 mg/L, les viscosités apparentes pour le Poly-Trol 200 et le FT-937B étaient les mêmes pour des mélanges à 0,28 pour cent, mais la viscosité du FT-937B était progressivement plus grande au fur et à mesure que les rapports de dilution augmentaient (113 pour cent supérieure pour un mélange à 0,70 pour cent). Avec de l'eau distillée (dureté <1 mg/L), les viscosités du mélange FT-937B étaient toujours inférieures à celles du Poly-Trol 200 pour tous les taux de dilution (figs. F1 et A1, annexe I).

Le Tenogum montrait une tolérance plus grande pour les constituants dissous dans l'eau, ce qui fait que la plage de travail pour un mélange donné permet l'utilisation d'une plus grande variété de sources d'eau (figs. C1 et C2, annexe I). Bien que le Tenogum soit raisonnablement sensible à la dureté de l'eau, spécialement pour les eaux douces à moyennement douces, la qualité du mélange peut être maintenue dans des limites raisonnables. Par exemple, si l'on accepte une variation de plus ou moins 10 pour cent dans la

viscosité et en prenant comme base le taux de dilution pour une dureté de 100 mg/L, on peut utiliser des eaux dans l'intervalle de dureté de 70 à 140 mg/L (en $CaCO_3$).

Les substances ignifuges Phos-Chek XB(PC-XB) et Fire-Trol 100 (FT-100) se comportent de manière très semblable au STR, fabriqué par Monsanto Canada Ltée. Leurs viscosités diminuent marginalement au fur et à mesure que la dureté de l'eau augmente, car elles contiennent des additifs de viscosité tolérants aux sels (figs. G1, I1, et H2, annexe I).

Adhérence aux branches

La quantité de substance ignifuge qui adhère aux branches était influencée par la proportion et la concentration des ramilles que l'on détermine par la taille de la branche, sa forme, et la densité. L'effet de rétention était plus prononcé lorsque l'on utilisait des mélanges de viscosité plus grande. Les masses d'eau ordinaire et d'eau épaissie vaporisées sur chaque branche ont été converties en pourcentage d'augmentation de la fixation des mélanges ignifuges ou extincteurs par rapport à l'eau (fig. 3).

Quelques additifs (Gelgard 60, XAP-104, 35-A-100, et Tenogum) absorbaient l'eau pour former des particules discontinues de gel (suspensions colloïdales). Lorsqu'ils étaient épandus à des viscosités inférieures à 50 mPa·s, la quantité d'eau avec additifs qui adhérait aux branches était de deux à quatre fois supérieure à la quantité d'eau seule. Pour des viscosités supérieures, seuls le Tenogum et le Polymer 35-A-100 montraient une adhérence améliorée. Les augmentations dans les quantités de Gelgard 60 et de Polymer XAP-104 qui adhéraient étaient modestes, même si la consistance de leurs gels semblait augmenter lorsque la viscosité augmentait.

Les fluides cohésifs, comme le Monsanto STR et le Poly-Trol 200, qui montrent des propriétés élastiques, s'écoulaient librement à des viscosités inférieures à 50 mPa·s, donc les quantités qui adhéraient étaient faibles (augmentation de 50 pour cent par rapport à l'eau). Au fur et à mesure que la viscosité augmentait, les quantités de matériaux qui adhéraient continuaient à augmenter, et la rétention entre les ramilles était de plus en plus importante.

Le Fire-Trol 100, un produit à base d'argile, donnait une bouillie qui adhérait bien et enveloppait les branches d'une couche de plus en plus épaisse au fur et à mesure que la viscosité augmentait.

La viscosité apparente acceptable pour chaque substance ignifuge et extinctrice, selon les mesures prises à l'aide du viscomètre Brookfield, est propre à ce produit car sa valeur dépend de l'écoulement du fluide, de sa dispersion et des caractéristiques d'adhérence. Pour un produit donné, la viscosité acceptable sur le terrain sera dictée par le système d'épandage, le combustible de la forêt, l'état de l'incendie ainsi que l'effet final souhaité. Basées sur la sélection d'une série de viscosités arbitraires de travail pour les substances ignifuges et utilisées comme repère à des fins de comparaison des produits, les courbes de la figure 3 indiquent pour chaque produit l'augmentation de la quantité qui adhère, exprimée en pourcentage par rapport à l'eau:

Produit	Viscosité (mPa·s)	Augmentation (%)
35-A-100	800	795
Tenogum	600	415
Gelgard 60	1300	365
XAP-104	1800	210
Monsanto STR	450	180
Poly-Trol 200	300	90

Ces données indiquaient que la viscosité apparente ne pourrait pas être utilisée pour prédire la capacité d'un produit à adhérer à des surfaces combustibles. L'interception par les combustibles aériens de ces produits qui adhéraient en quantité excessive pourrait nuire à l'optimisation de l'efficacité des substances ignifuges et extinctrices, particulièrement lorsqu'on traite des combustibles en surface ou près de la surface.

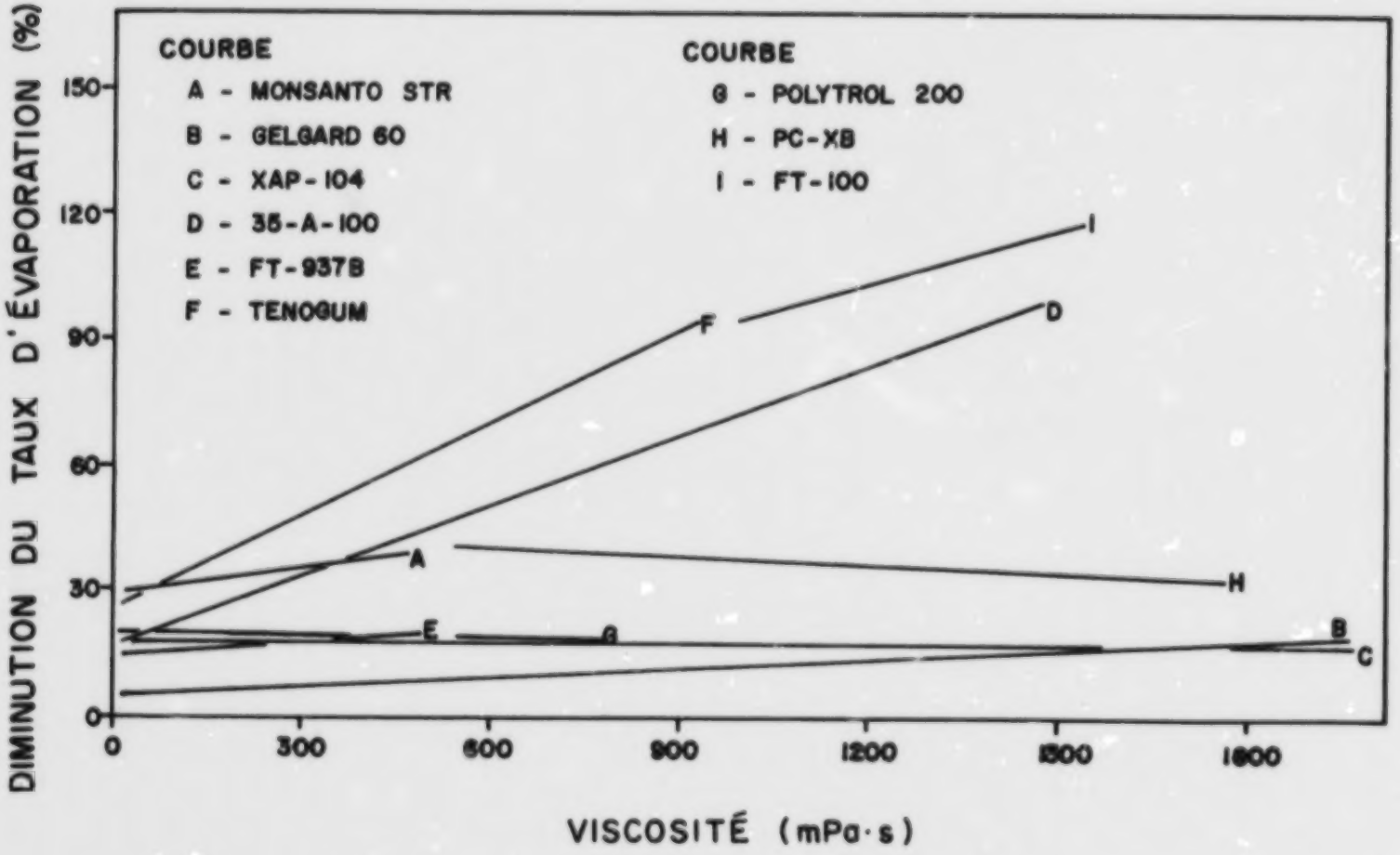

Figure 3. Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité de mélange qui adhère, exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau adhérant aux branches correspondantes.

Potentiel de stillation et de coulage

L'épandage de quantités excessives de substances ignifuges et extinctrices sur les branches a pour résultat un écoulement pendant et après l'épandage. La plupart des matières en excès s'écoulent pendant les 30 s entre la fin du traitement et le début du contrôle de la perte de masse dans l'enceinte de conditionnement. La perte de masse initiale enregistrée et identifiée comme EDR dans la figure 1 représentait la combinaison du potentiel de stillation et de coulage des matériaux particuliers et l'évaporation, mais la perte de masse résultant de l'évaporation, était faible par rapport à la totalité. La fraction de stillation et de coulage est exprimée en pourcentage basé sur la quantité totale retenue au moment du transfert des branches dans l'enceinte de conditionnement (fig. 4). Pour l'eau naturelle la quantité EDR moyenne était de 21 pour cent. La stillation pour le Tenogum et le Polymer 35-A-100 était de 10 et 20 pour cent respectivement, pour des viscosités faibles, mais lorsque la viscosité augmentait, le pourcentage d'EDR diminuait de 5 à 15 pour cent à l'extrémité de l'intervalle de travail. Bien que le Gelgard 60 et le Polymer XAP-104 formaient aussi des gels d'un type particulaire, leur pourcentage d'EDR augmentait de 25 à environ 50 pour cent lorsque la viscosité augmentait de près de zéro à 1800 mPa·s. Cette diversité dans la quantité d'EDR se voyait aussi avec les substances ignifuges et extinctrices qui avaient des propriétés remarquables de cohésion et d'élasticité: l'EDR pour le Phos-Chek XB restait inchangé (36 à 38 pour cent) quelle que soit sa consistance et pour le Poly-Trol 200 il suivait une courbe parabolique, le pourcentage qui augmentait au début atteignait un maximum à environ 400 mPa·s et diminuait ensuite rapidement au fur et à mesure que la viscosité augmentait. L'EDR pour le Fire-Trol 100 était nul. Le surplus d'ignifuge tombait immédiatement dès la fin de l'épandage et la bouillie qui restait accrochée aux branches demeurait intact. La liste suivante montre les valeurs d'EDR et le temps de stillation pour les divers produits, en utilisant les viscosités de travail arbitraires identifiées.

Produit	EDR (%)	Durée de la stillation (min)
XAP-104	47	5 (8)
Monsanto STR	46	3–4 (5)
Gelgard 60	43	5 (7)
Poly-Trol 200	35	4–5 (5.5)
35-A-100	17	7–8 (9)
Tenogum	6	4–5 (6)

La durée de la stillation indiquée entre parenthèses représente la valeur extrême rencontrée pour une substance ignifuge spécifique. En général, on s'attend à ce que la stillation d'une seule branche se termine en 5 min quelles que soient les caractéristiques du fluide.

Taux d'évaporation

L'impossibilité de déterminer visuellement si les additifs dans les substances ignifuges ou extinctrices retardent l'évaporation des fractions liquides épandues sur les combustibles forestiers amène à tirer des conclusions inexactes. Si l'on examine les branches soigneusement on constate que le recouvrement par les substances ignifuges et extinctrices est notablement plus visible qu'une couche d'eau et reste humide plus longtemps car l'eau épaissie recouvre les surfaces plus profondément. En convertissant les données de perte de masse de l'eau et des substances ignifuges et extinctrices en minutes par gramme, on a obtenu des valeurs comparatives de la diminution du taux d'évaporation. Elles sont présentées dans la figure 5. L'absorption d'eau par la branche n'a pas été déterminée, mais le transfert de l'eau du produit dépend de la force de liaison moléculaire et du temps de contact avec la surface du combustible.

La réduction du taux d'évaporation pour le Gelgard 60, de 6 à 18 pour cent, était insignifiante si l'on considère que plus de 200 pour cent de gel que d'eau adhérait à la surface du combustible. Les réductions pour le Monsanto STR, le Polymer XAP-104, le Poly-Trol 200, et le Phos-Chek XB (15 à 35 pour cent) aux viscosités étudiées étaient au plus

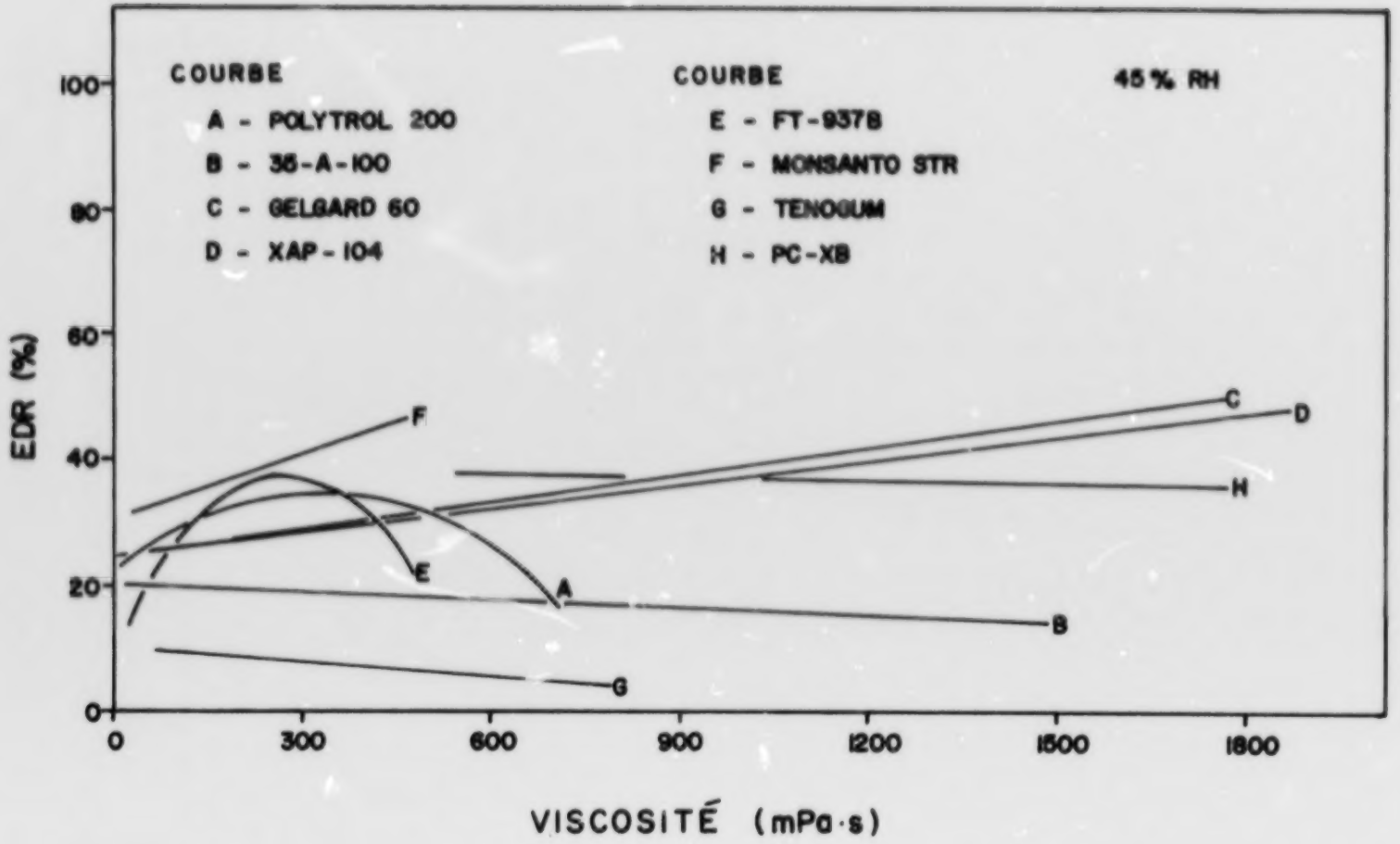

Figure 4. Effet de la viscosité sur la stillation et le coulage après l'épandage, exprimé en pourcentage de la quantité totale épandue.

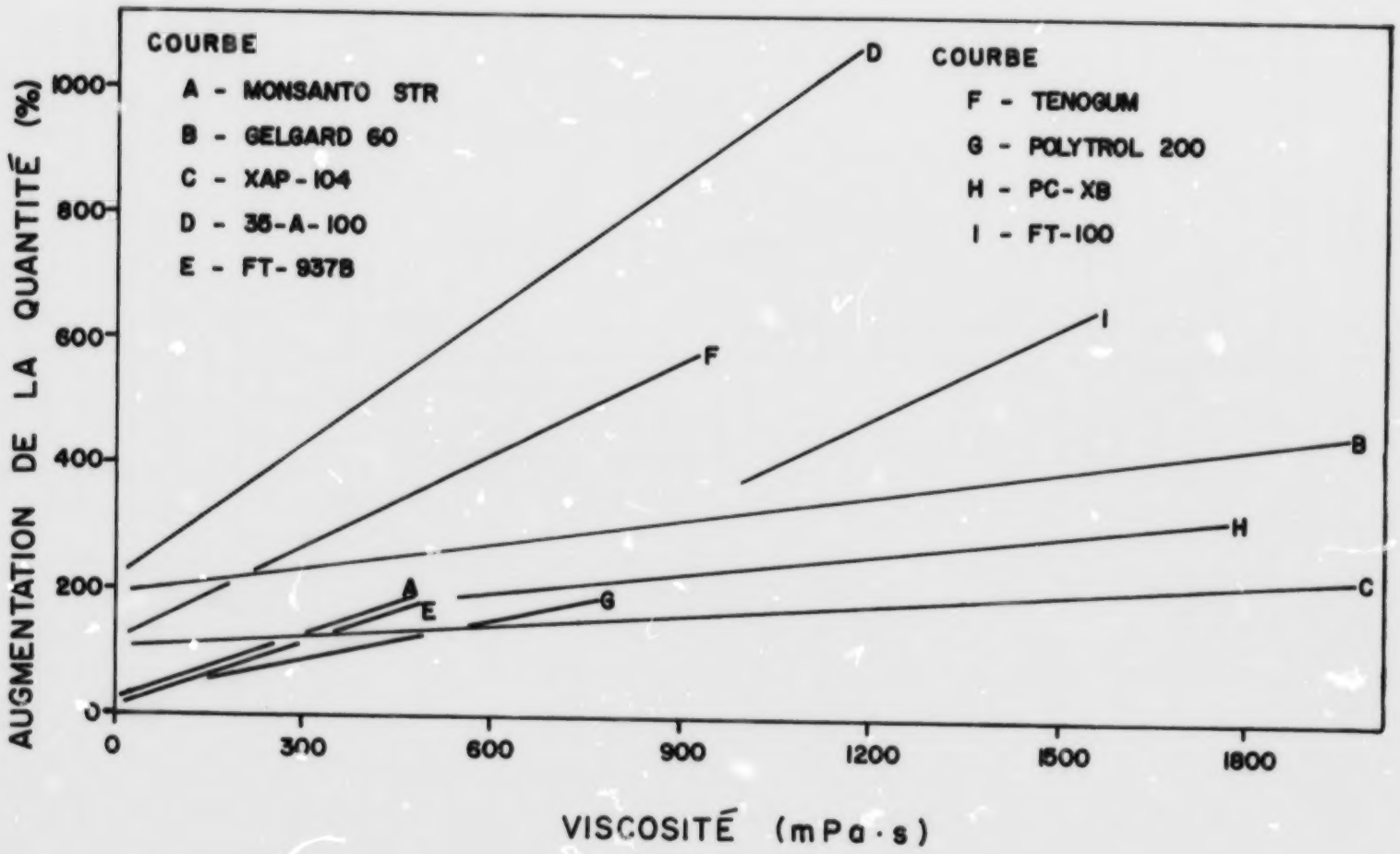

Figure 5. Effet de la viscosité sur la diminution du taux d'évaporation des substances ignifuges ou extinctrices, exprimé en pourcentage de diminution par rapport au taux d'évaporation de l'eau.

marginales. Le Polymer 35-A-100, le Tenogum, et le Fire-Trol 100 avaient un effet de plus en plus prononcé sur la diminution des pertes d'eau dans l'atmosphère au fur et à mesure que leur viscosité augmentait; ceci indique que les facteurs physiques étaient plus responsables de la diminution du taux d'évaporation que les facteurs chimiques. Si la chimie du produit avait été le principal facteur, on aurait observé des réductions substantielles de l'évaporation même à de faibles niveaux de viscosité apparente, à moins que les forces de liaison interne du fluide ne se développent pas avant une certaine concentration. Le mécanisme gouvernant les pertes d'eau dans l'air est probablement mécanique, ce qui veut dire qu'un film se développe à la surface du fluide et ralentit le transfert des molécules de l'eau.

Lorsque l'on a choisi comme base de comparaison une augmentation de 150 pour cent dans la quantité adhérente, le Tenogum, le STR de Monsanto, le Poly-Trol 200, et le Polymer XAP-104, leurs viscosités apparentes étant de 65, 355, 580, et 700 mPa·s, ont atteint des performances égales en terme de capacités de recouvrement, mais (courbes de la fig. 5) les réductions de leur taux d'evaporation pour les viscosités correspondantes étaient de 31, 37, 19, et 18 pour cent. Avec une augmentation de 300 pour cent dans la quantité adhérente, les viscosités respectives du Polymer 35-A-100, du Tenogum, et du Gelgard 60 étaient de 115, 360, et 590 mPa·s et à ces viscosités, les réductions du taux d'évaporation étaient de 23, 53, et 10 pour cent. Le Tenogum et le Monsanto STR retenaient l'eau beaucoup mieux dans leur structure liquide que les autres épaississants.

Pour les viscosités repères établies auparavant, les déterminations du taux d'évaporation étaient les suivantes: Gelgard 60, 15 pour cent; Polymer XAP-104, 17 pour cent; Poly-Trol 200, 20 pour cent; Monsanto STR, 39 pour cent; Polymer 35-A-100, 62 pour cent, et Tenogum, 67 pour cent.

Évaluation de la performance

Cinq facteurs ont été examinés et les produits classés selon les données présentées. Le double classement du tableau I donne une évaluation pour tous les produits étudiés et une séparée pour les épaississants seulement. Il est fréquent d'utiliser les substances ignifuges dans le même but que les substances extinctrices, c'est-à-dire pour l'extinction directe, si bien que l'inclusion de deux produits très différents, le Fire-Trol 100 et le Phos-Chek XB, permet de faire une comparaison des similitudes et des différences de ces produits avec les substances extinctrices. Les substances ignifuges se comparaient favorablement à la meilleure des substances extinctrices. Les substances extinctrices classées 5 et 6 pour leur sensibilité à la dureté de l'eau, 4, 5, et 6 pour leur sensibilité à la dilution et 5 et 6 pour le retard de l'évaporation fournissent des avantages minimes en comparaison des problèmes d'utilisation qu'ils posent. Les Polymer XAP-104 et 35-A-100 et Gelgard 60 sont moins bons. L'adhérence et le facteur de stillation et de coulage sont uniques en ce sens que la cote jugée acceptable dépend de la quantité épandue par unité de surface et du complexe de combustibles sur lequel le produit est épandu.

Taux d'hydratation

Un facteur qui n'a pas été considéré jusqu'à maintenant dans le classement de la performance est le taux d'hydratation. Les avantages maximaux ne peuvent être obtenus des produits qui ne peuvent atteindre la consistance désirée entre le moment où l'on ajoute l'agent épaississant et le moment où l'on déverse le mélange sur la zone visée. La période de rotation des avions-citernes est normalement de 10 à 15 minutes, donc les épaississants doivent se mélanger au moins à 80 pour cent en 5 min. Trois produits répondent à cette contrainte de temps, ce sont le Poly-Trol 200, le Polymer 35-A-100, et le Gelgard 60 (fig. 6) mais les deux derniers n'ont pas une place très élevée en regard des autres facteurs.

La courbe du Tenogum indique que ce produit est très lent à réagir, mais que son taux de réaction dépend du taux de cisaillement et de la durée de mélange.

Tableau 1. Classement des produits

	Substances ignifuges		Substances extinctrices					
	FT-100	PC-XB	STR	Tenogum	35-A-100	Poly-Trol 200	Gelgard 60	XAP-104
Sensibilité à la dureté de l'eau (de la plus faible à la plus grande)	3	2	1 (1)*	4 (2)	5 (3)	6 (4)	7 (5)	8 (6)
Sensibilité taux de dilution/viscosité (de la plus faible à la plus forte)	1	2	4 (2)	5 (3)	6 (4)	3 (1)	8 (6)	7 (5)
Adhérence au combustible (de la plus grande à la plus petite)	3	6	5 (4)	2 (2)	1 (1)	7 (6)	4 (3)	8 (5)
Potentiel de stillation et de coulage (du plus grand au plus petit)	8	5	1 (2)	7 (6)	6 (5)	4 (4)	2 (3)	3 (1)
Réduction de l'évaporation (de la plus grande à la plus petite)	1	5	4 (3)	2 (1)	3 (2)	6 (4)	8 (6)	7 (5)

*Les nombres entre parenthèses sont pour les substances extinctrices seules, d'après la performance à des viscosités arbitraires choisies.

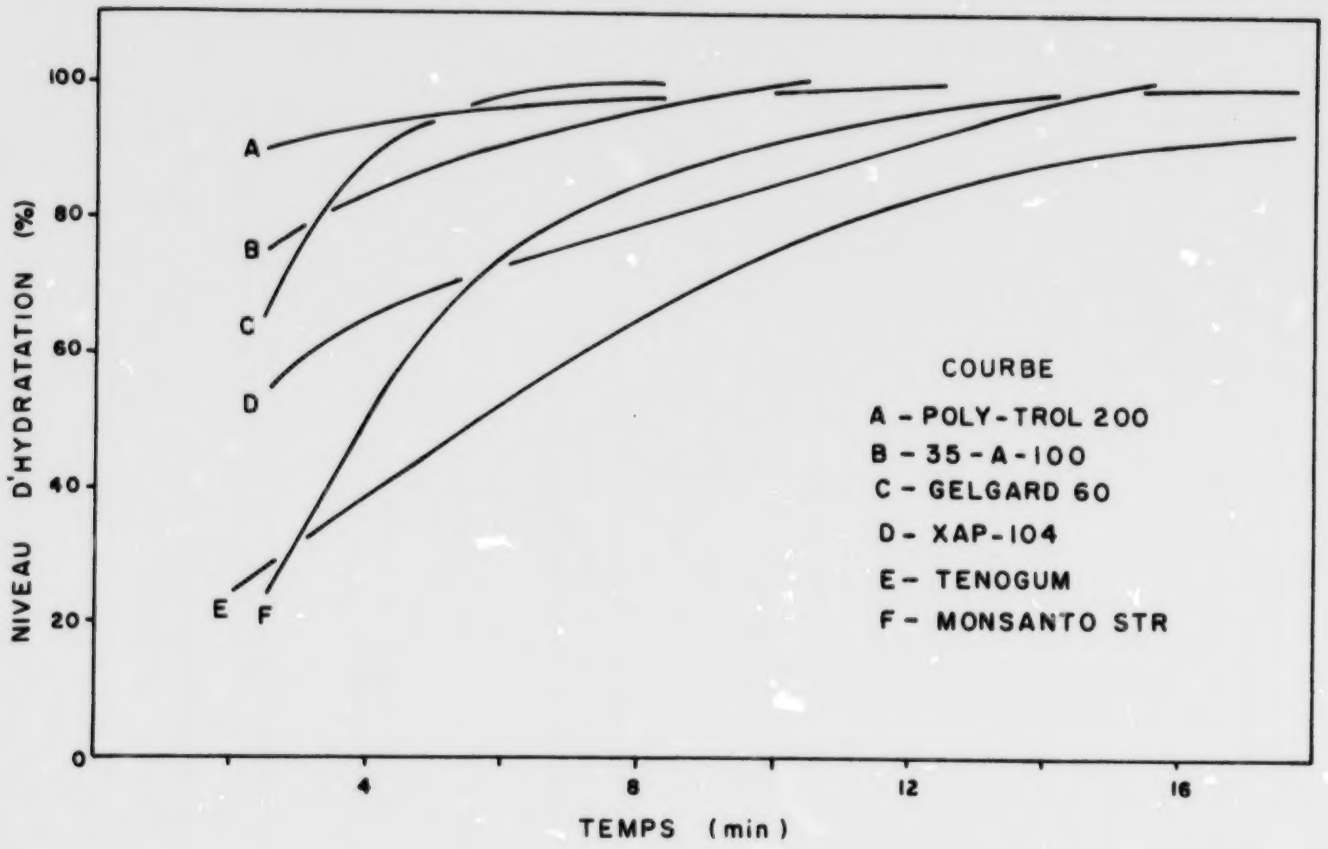

Figure 6. Vitesse d'hydratation des agents épaississants de l'eau.

Un mélange à grande vitesse de trois échantillons (rapport de dilution 0,35 pour cent) pendant 2, 4, et 6 min, respectivement, a produit des gels ayant trois niveaux de viscosité distincts. En doublant le temps de mélange, la viscosité du fluide augmentait de 30 pour cent et en triplant, la viscosité augmentait de 90 pour cent (toutes les mesures de viscosité ont été faite 7 min après l'addition du Tenogum). La courbe de la figure 6 représente le taux d'hydratation du Tenogum en présence de conditions minimales de mélange. Un échantillon très mélangé d'eau épaissie par le Tenogum devrait avoir une courbe d'hydratation se trouvant entre celle du Monsanto STR et du Gelgard 60.

Résumé

Pour déterminer si les produits conviennent, il faut identifier les limites opérationnelles qui existent ou peuvent être rencontrées. La sensibilité à la dureté de l'eau et le taux de dilution par rapport à la sensibilité à la viscosité apparente posent un problème de contrôle de qualité, donc, des produits comme le Polymer XAP-104 et le Gelgard 60 ne sont pas pratiques pour diverses utilisations sur le terrain. Le Polymer 35-A-100 a une relation critique entre le taux de dilution et la viscosité et donc s'avère moins souhaitable que les autres additifs. L'importance du degré d'interception par les combustibles aériens et le potentiel de stillation et de coulage d'un mélange donné dépend de la taille de la charge utile. Lorsque la quantité épandue est petite, l'interception minimale assurera une pénétration dans le complexe de combustibles. D'un autre côté, si la charge utile est grande, les mélanges qui adhèrent à la surface du combustible en quantités peuvent supporter des niveaux d'interception plus grands. Dans le premier cas, le Poly-Trol 200 ou le Monsanto STR agissent efficacement grâce aux caractéristiques de stillation et de coulage résultant de leur élasticité et dans le second cas, le Tenogum est le produit à utiliser. Le retard dans l'évaporation de l'eau introduit par les substances extinctrices prolonge la protection des combustibles en augmentant leur résistance au séchage et leur inflammation subséquente.

Les produits qui répondaient aux critères susmentionnés et assuraient un niveau acceptable de retard de l'évaporation, dans le contexte des tests en laboratoire effectués ici, étaient le Tenogum, le Monsanto STR et le Poly-Trol 200.

La seule restriction qui influence l'utilisation de l'un ou l'autre de ces agents épaississants est la durée de l'intervale entre les largages de l'avion-citerne: le laps de temps entre l'addition du produit à l'eau et le déchargement de la charge utile sur la zone visée doit être suffisamment long pour que l'hydratation soit adéquate.

Annexe I

Renseignements sur les produits

I-A

1. Nom: Poly-Trol 200

2. Fournisseur: Chemonics Industries (Canada) Ltd.
P.O. Box 745
Kamloops (C.-B.) V2C 5M4

3. Propriétés (renseignements fournis par le fabricant):

a) Epaississeur concentré liquide
b) Densité, 1,055
c) Viscosité du concentré, 690 mPa·s (#3 à 60 tr/min)
d) Grande longévité du produit, même entreposé à l'extérieur
e) Essentiellement non toxique
f) Taux d'hydratation rapide, <1 min
g) Très influencé par la dureté de l'eau
h) La viscosité diminue lorsque le pH décroit
i) Se dissout rapidement dans l'eau à une température plus élevée que 0°C
j) L'influence de la température sur la viscosité est minimale
k) Viscosité d'une solution à 0,50%, 475 mPa·s (#3 à 60 tr/min)

4. Caractéristiques extinctrices (déterminées en laboratoire):

Figure A1: Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 5, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$)

Figure A2: Effet de la dureté de l'eau sur la viscosité apparente de l'eau épaissie

Figure A3: Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité adhérente exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau

Figure A4: Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur la quantité totale pulvérisée

Figure A5: Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport à l'eau (28°C, 45% HR)

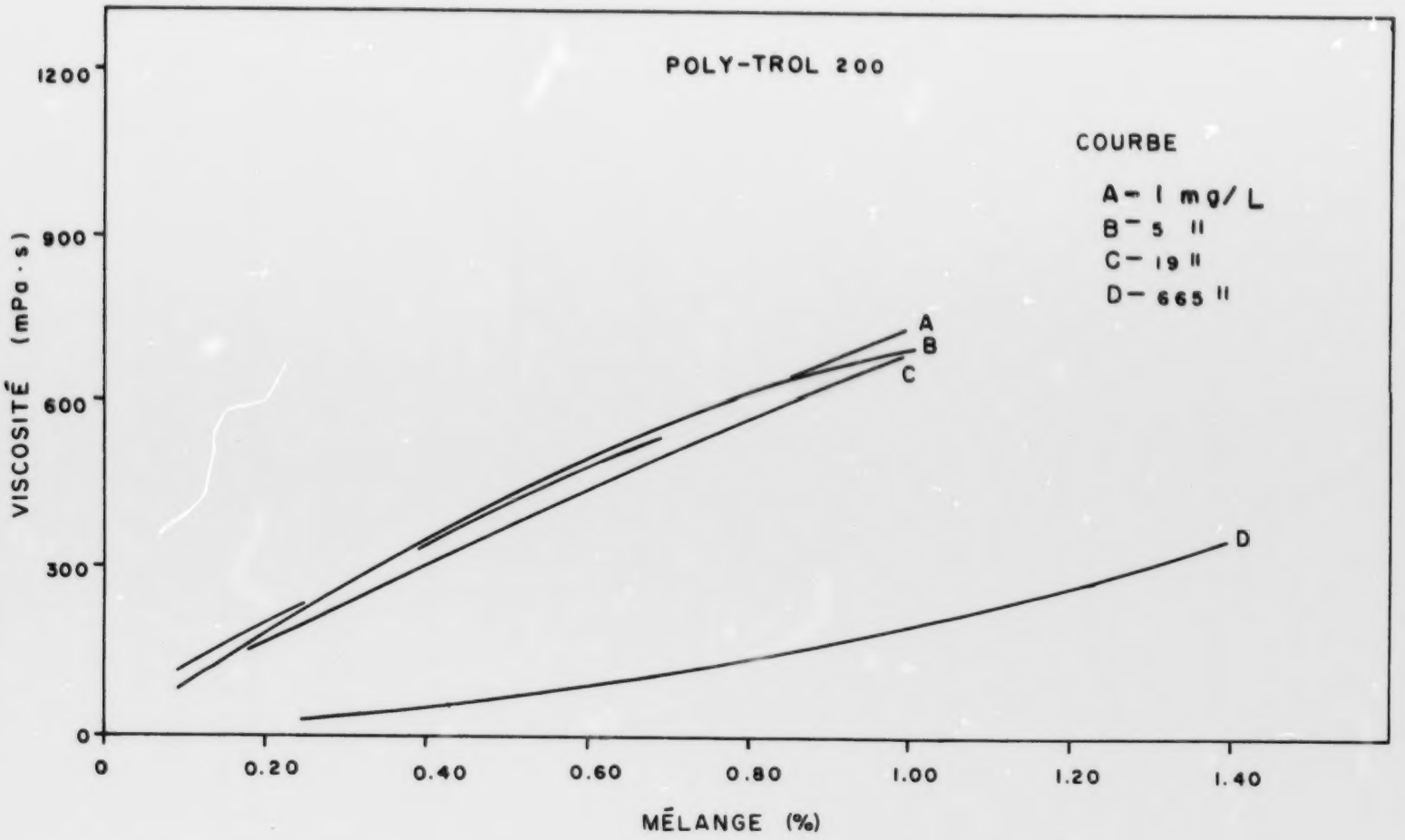

Figure A1. Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 5, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$).

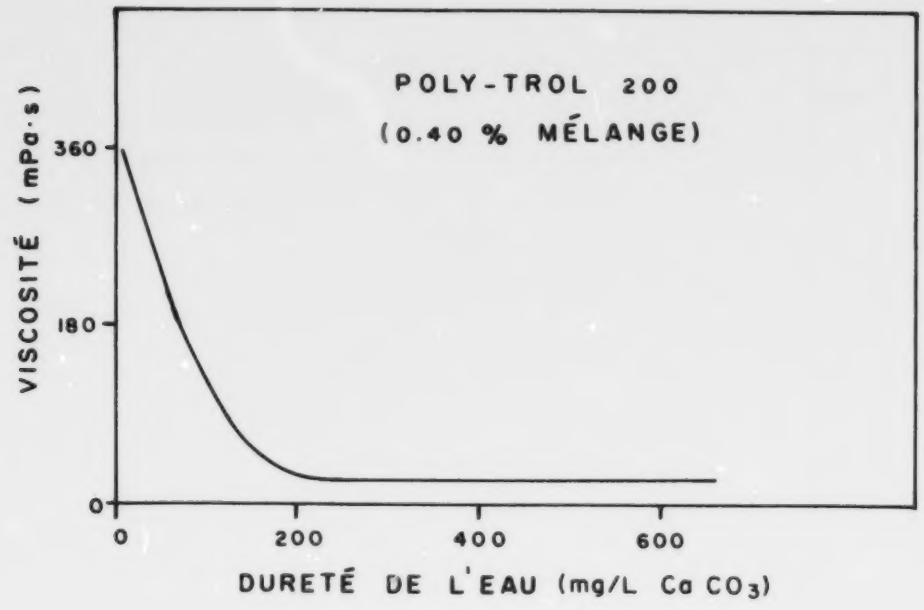

Figure A2. Effet de la dureté de l'eau sur la viscosité apparente de l'eau épaissie.

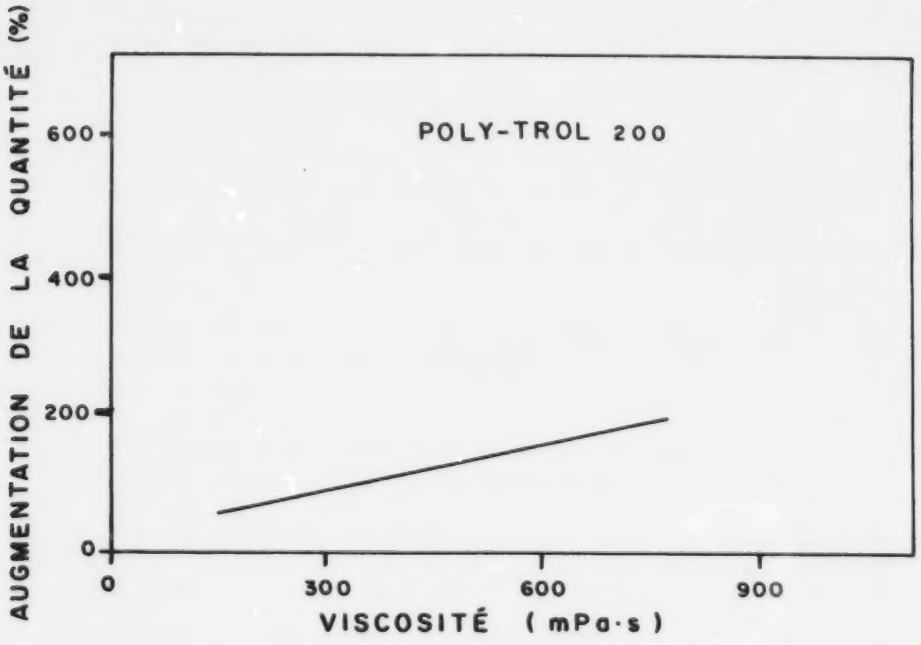

Figure A3. Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité de mélange qui adhère exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau.

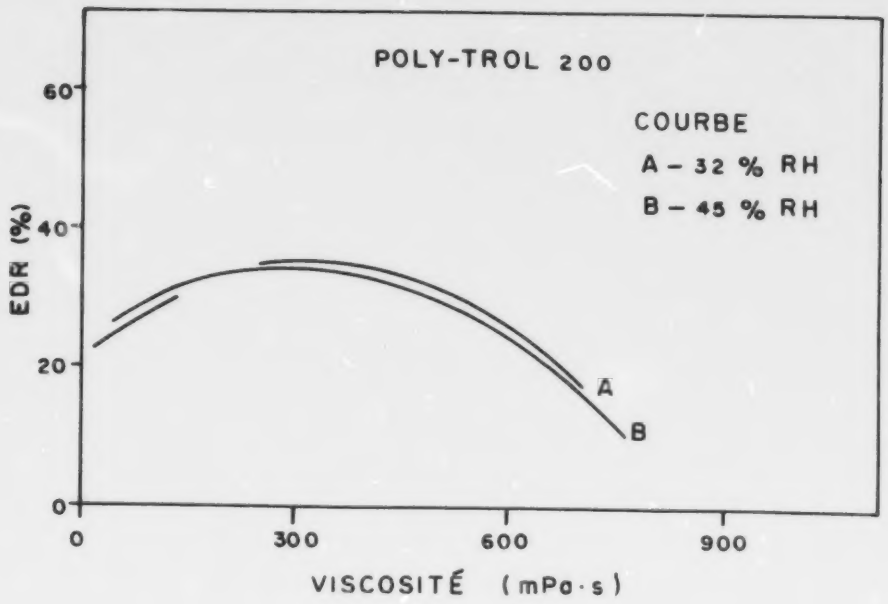

Figure A4. Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur la quantité totale pulvérisée.

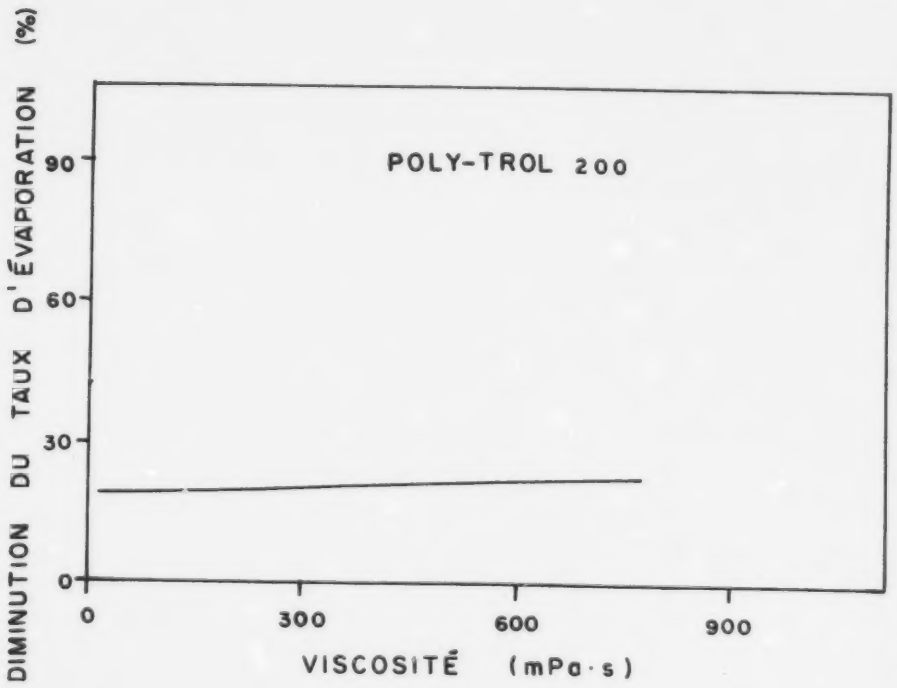

Figure A5. Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport au taux d'évaporation de l'eau (28°C, 45% HR).

I-B

1. Nom: Gelgard 60

2. Fournisseur: Dow Chemical of Canada Limited
P.O. Box 1012
Modeland Road
Sarnia (Ontario) N7T 7K7

3. Propriétés (renseignements fournis par le fabricant):

a) Polymère sous forme de poudre se gonflant en présence d'eau
b) Très hygroscopique
c) Non toxique pour les plantes
d) Mêmes caractéristiques de corrosion que l'eau naturelle
e) Présente une sensibilité aux sels, donc à la dureté de l'eau
f) Taux de dilution recommandé: 0,12%–0,48% en masse
g) Taux d'hydratation rapide
h) Non abrasif
i) Conservation indéfinie lorsqu'il est entreposé dans des contenants fermés hermétiquement

4. Caractéristiques extinctrices (déterminées en laboratoire):

Figure B1: Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 5, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$)

Figure B2: Effet de la dureté de l'eau sur la viscosité apparente de l'eau épaissie

Figure B3: Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité adhérente exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau

Figure B4: Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur la quantité totale pulvérisée

Figure B5: Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport à l'eau (28°C, 45% HR)

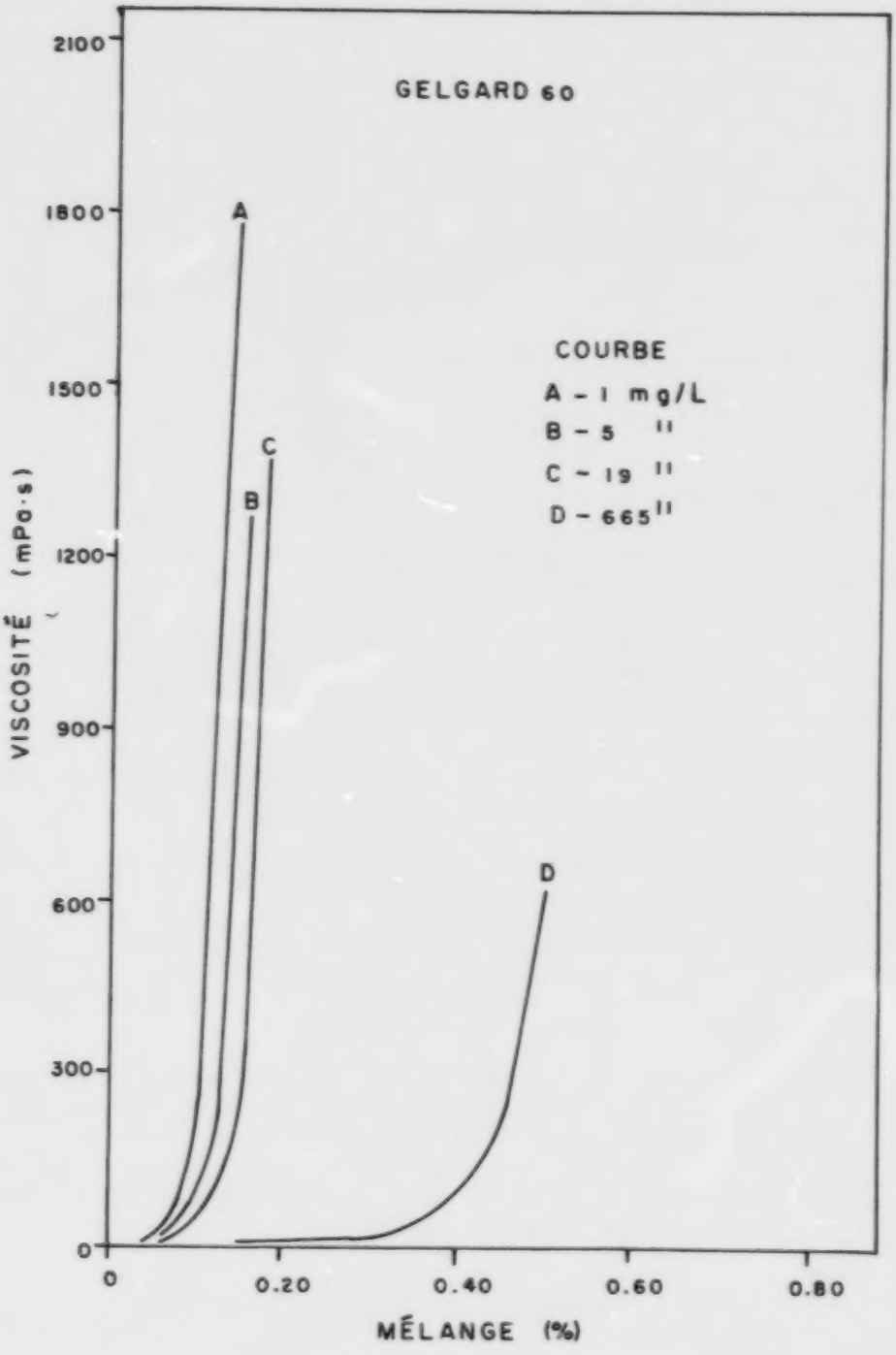

Figure B1. Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 5, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$).

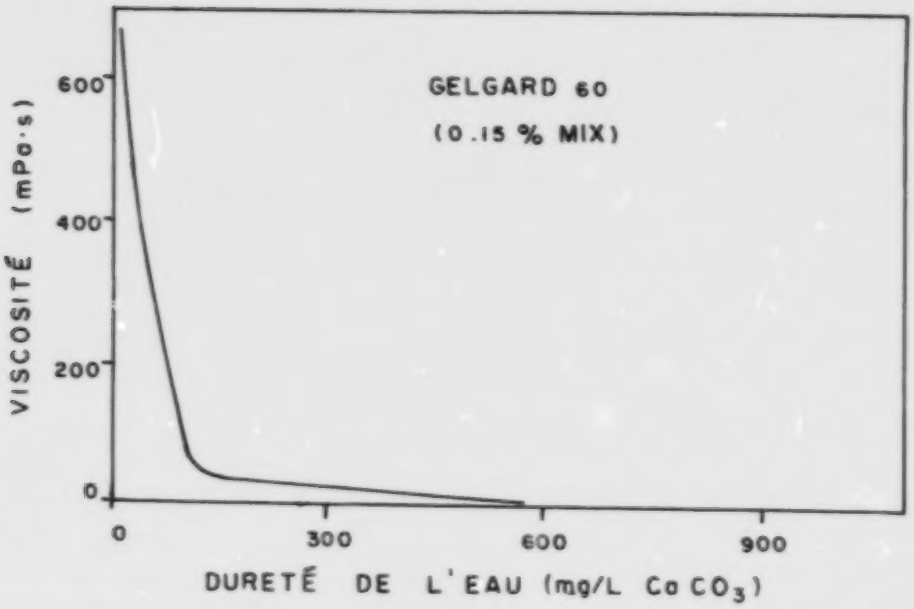

Figure B2. Effet de la dureté de l'eau sur la viscosité apparente de l'eau épaissie.

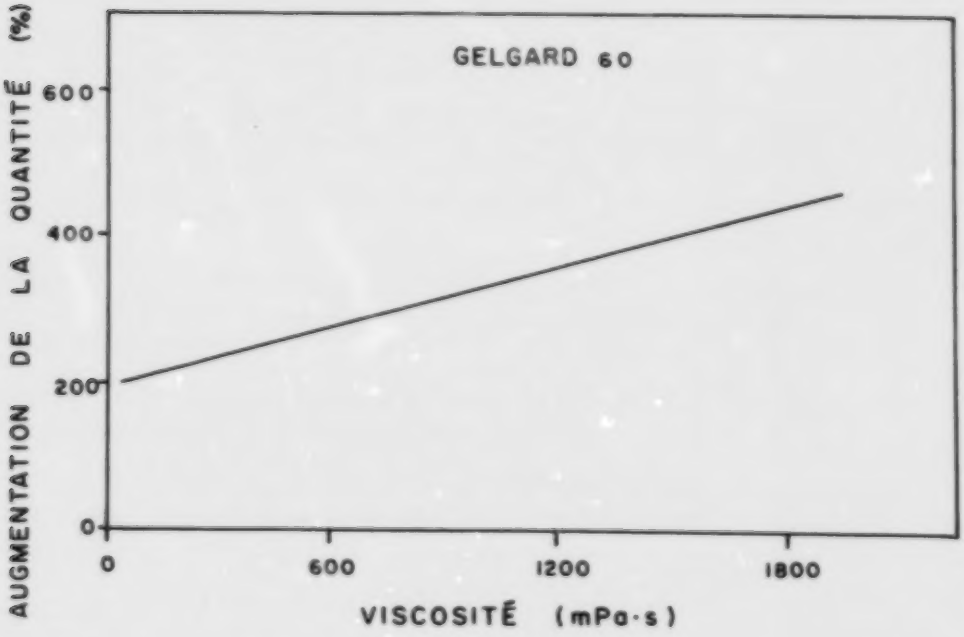

Figure B3. Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité de mélange qui adhère exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau.

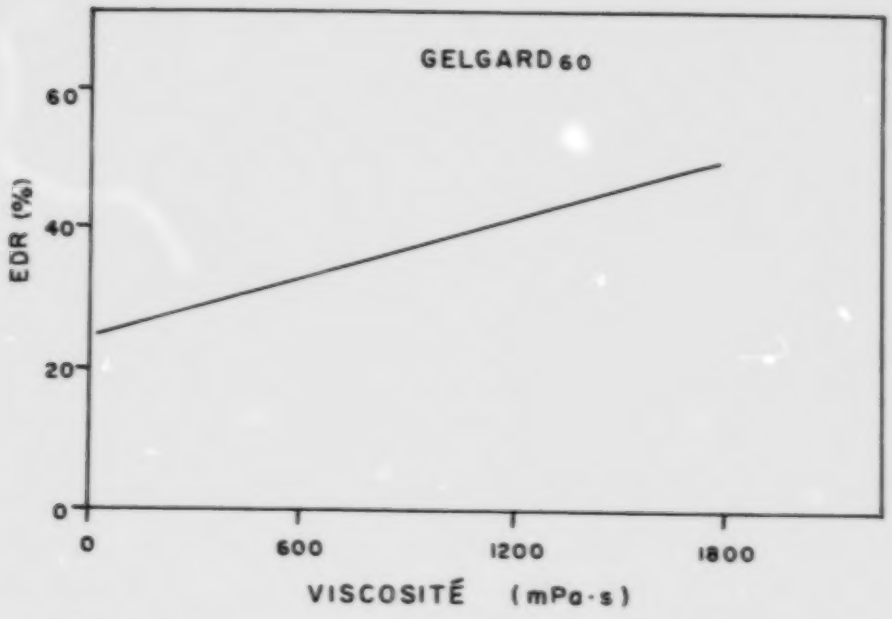

Figure B4. Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur une quantité totale pulvérisée.

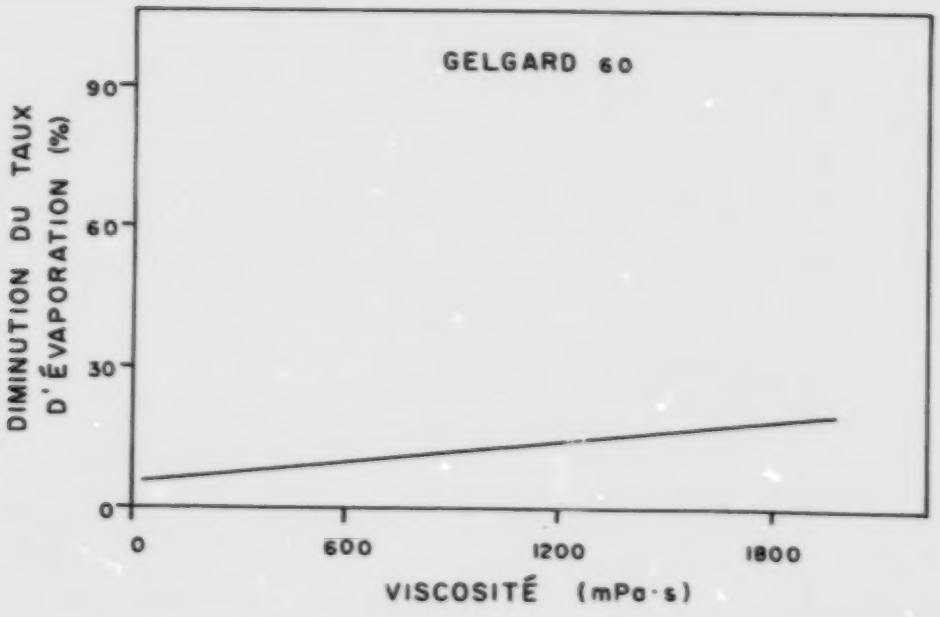

Figure B5. Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport au taux d'évaporation de l'eau (28°C, 45% HR).

I-C

1. Nom: Tenogum

2. Fournisseur: Charles Tennant & Co. Ltd.
34 Clayson Road
Weston (Ontario) M9M 2G8

3. Propriétés (renseignements fournis par le fabricant):

a) Colloïdes solubles dans l'eau, sous forme de poudre
b) Solubilité et hydratation rapides
c) Se disperse dans l'eau froide avec une agitation minimale
d) Stable pour une vaste gamme de pH
e) Thixotrope lorsque mélangé avec l'eau
f) Longue durée de conservation
g) Essentiellement non toxique
h) La solution présente des propriétés réduisant la friction
i) Non corrosif
j) Taux de dilution recommandé: 0,30%–0,35% pour la pulvérisation aérienne et 0,20%–0,30% pour l'épandange au sol

4. Caractéristiques extinctrices (déterminées en laboratoire):

Figure C1: Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 5, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$)

Figure C2: Effet de la dureté de l'eau sur la viscosité apparente de l'eau épaissie

Figure C3: Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité adhérente exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau

Figure C4: Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur la quantité totale pulvérisée

Figure C5: Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport à l'eau (28°C, 45% HR)

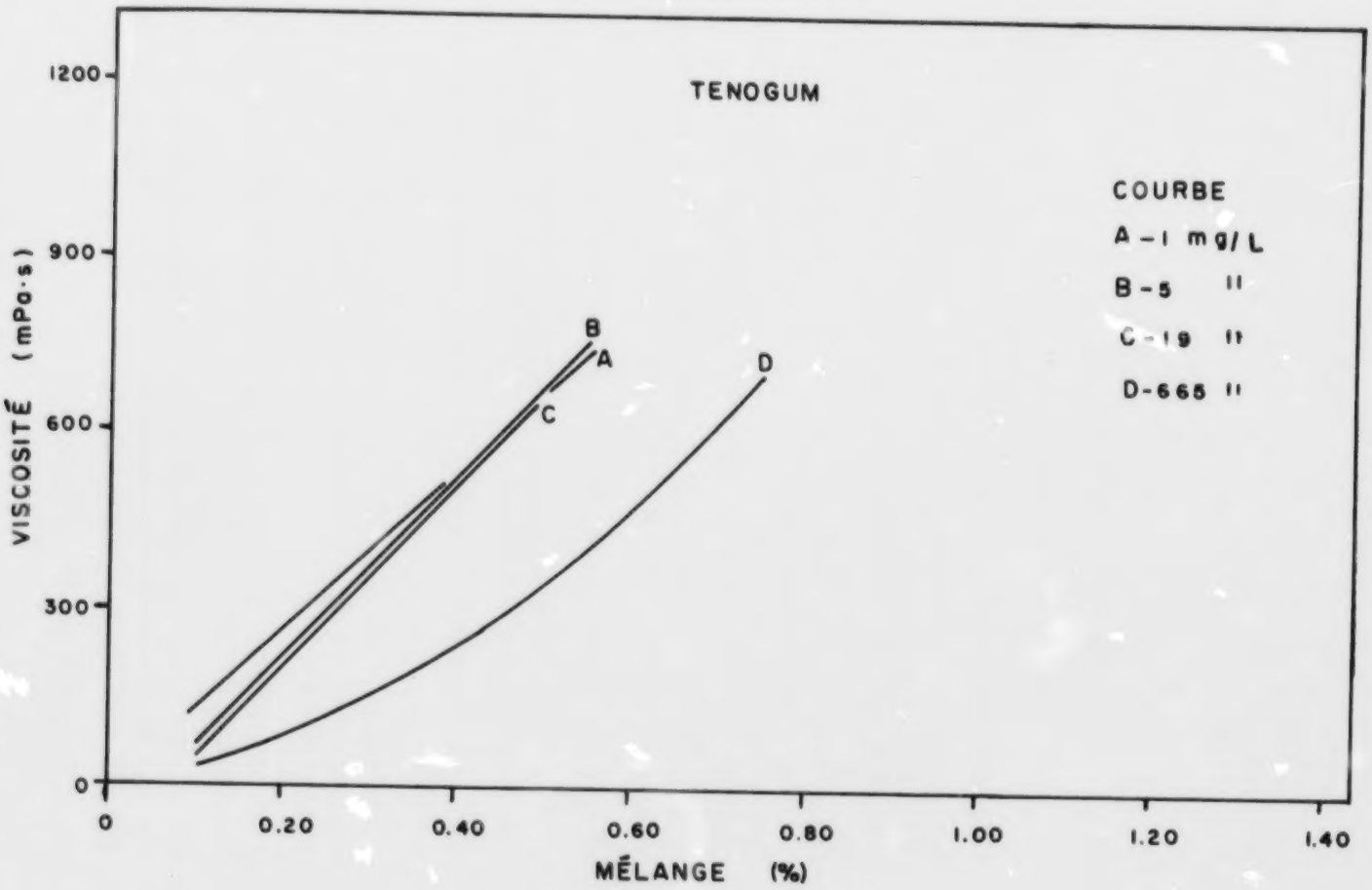

Figure C1. Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 5, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$).

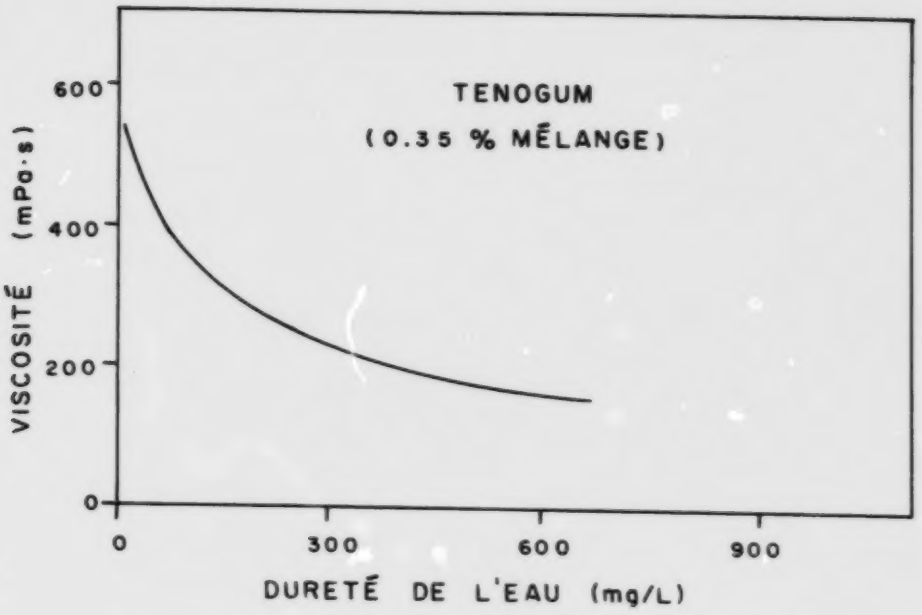

Figure C2. Effet de la dureté de l'eau sur la viscosité apparente de l'eau épaissie.

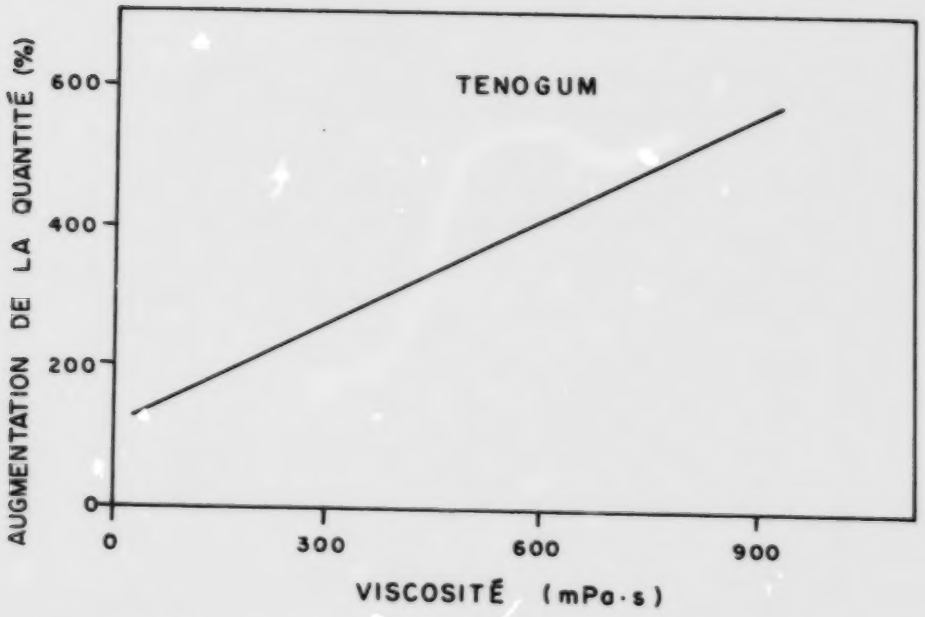

Figure C3. Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité adhérente exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau.

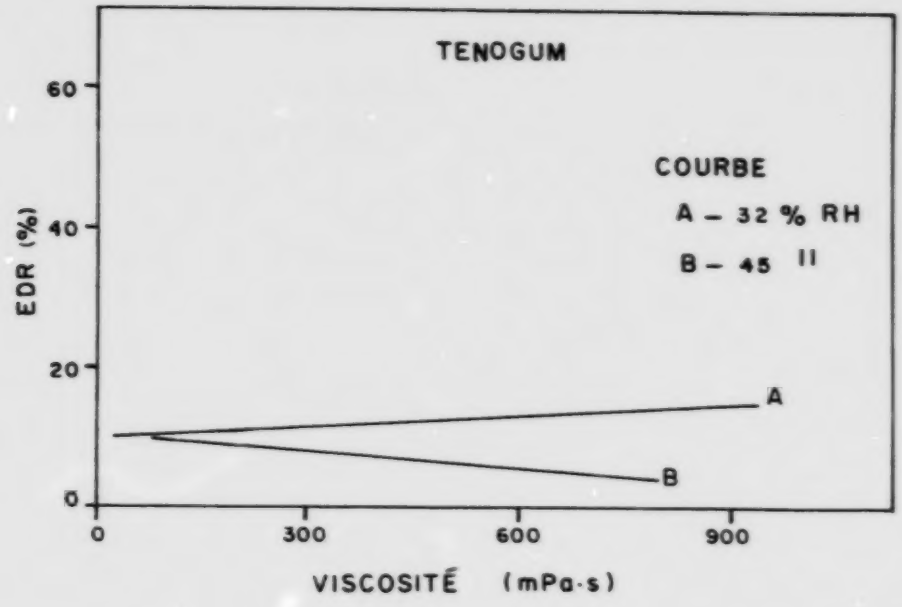

Figure C4. Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur une quantité totale pulvérisée.

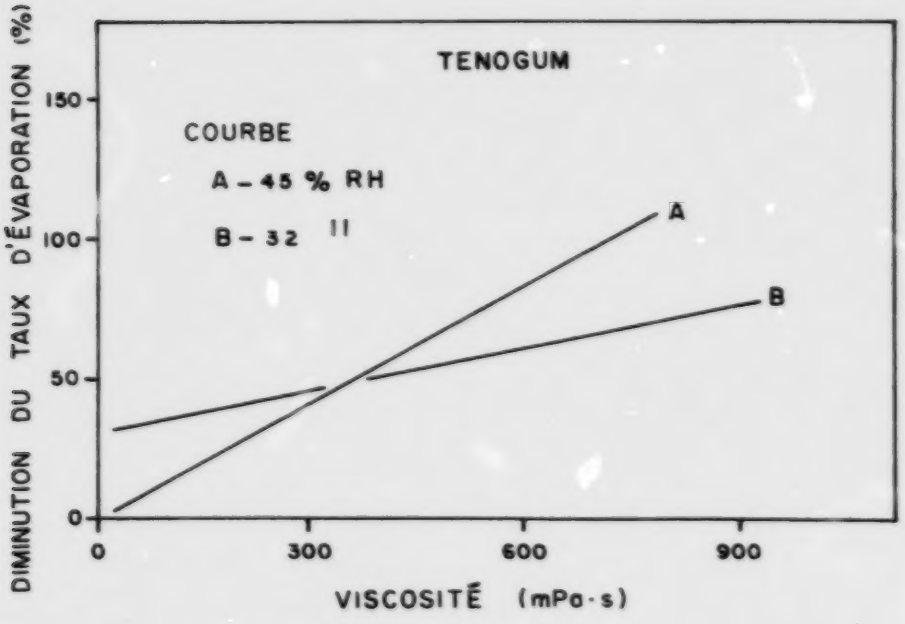

Figure C5. Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport au taux d'évaporation de l'eau (28°C, 45% HR).

I-D

1. Nom: Polymer XAP-104

2. Fournisseur: General Mills Chemicals Inc.
4620 West 77th Street
Minneapolis, Minn., U.S.A. 55435

3. Propriétés (renseignements fournis par le fabricant):

a) Poudre insoluble dans l'eau, gonflant dans l'eau et l'absorbant; ne s'agglomère pas
b) Se disperse immédiatement dans l'eau
c) La capacité d'absorption varie en fonction de la dureté de l'eau, de la force ionique et du pH
d) Glissant lorsque humide
e) Essentiellement non toxique pour l'humain ou la faune

4. Caractéristiques extinctrices (déterminées en laboratoire):

Figure D1: Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 5, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$)

Figure D2: Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité adhérente exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau

Figure D3: Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur la quantité totale pulvérisée

Figure D4: Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport à l'eau (28°C, 45% HR)

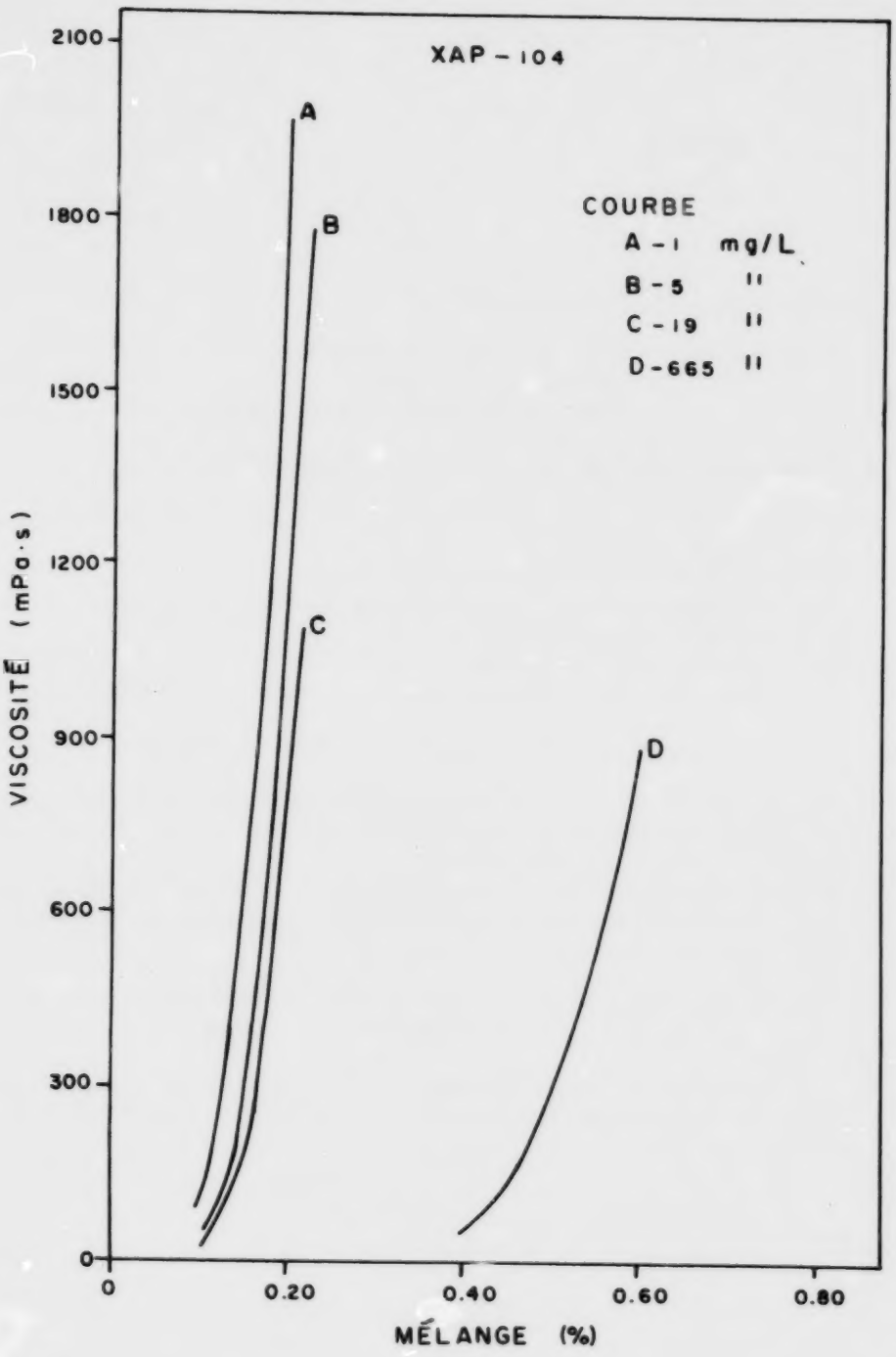

Figure D1. Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 5, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$).

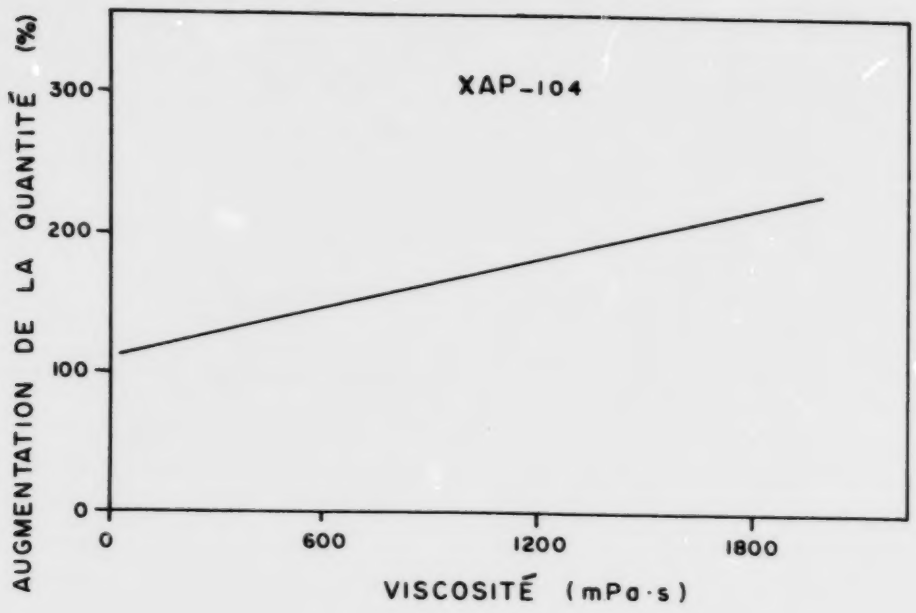

Figure D2. Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité de mélange qui adhère exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau.

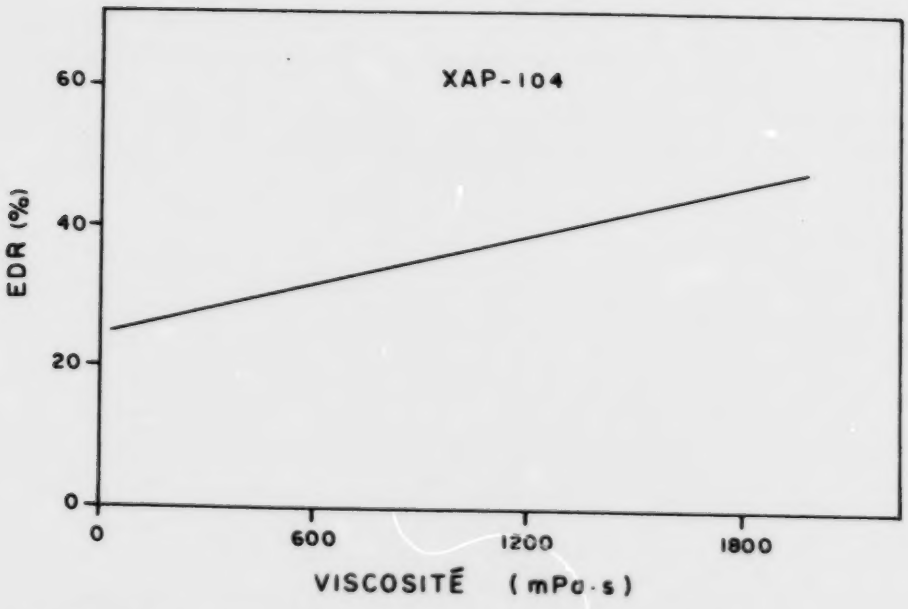

Figure D3. Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur une quantité totale pulvérisée.

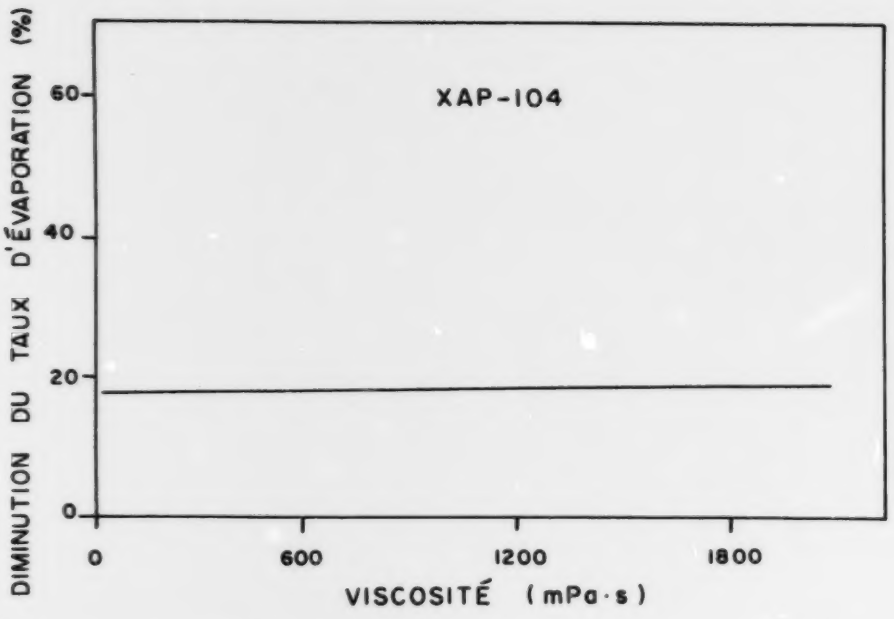

Figure D4. Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport au taux d'évaporation de l'eau (28°C, 45% HR).

I-E

1. Nom: Polymer 35-A-100

2. Fournisseur: Grain Processing Corporation
Muscatine, Iowa 52761
U.S.A.

3. Propriétés (renseignements fournis par le fabricant):

a) Poudre insoluble absorbant l'eau; ne s'agglomère pas
b) Essentiellement non toxique et non allergène
c) Hydratation rapide sans agglomération
d) Sensible à la dureté de l'eau

4. Caractéristiques extinctrices (déterminées en laboratoire):

Figure E1: Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 5, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$)

Figure E2: Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité adhérente exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau

Figure E3: Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur la quantité totale pulvérisée

Figure E4: Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport à l'eau (28°C, 45% HR)

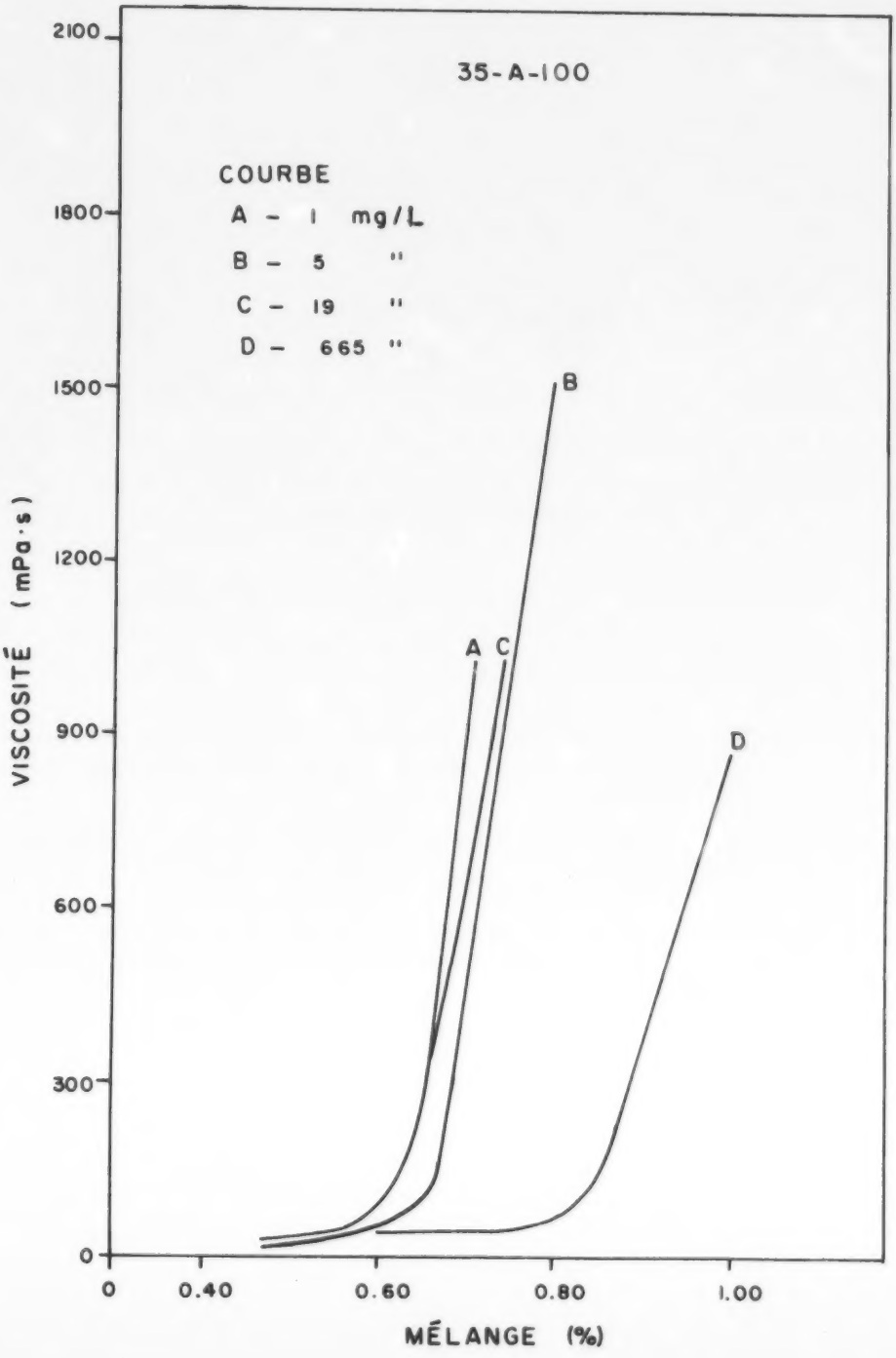

Figure E1. Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 5, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$).

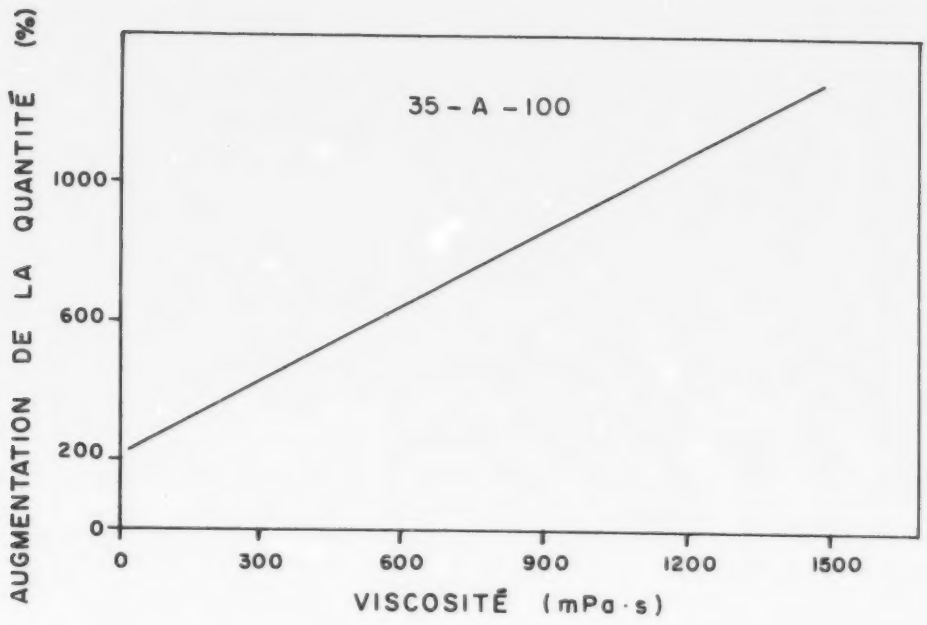

Figure E2. Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité de mélange qui adhère exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau.

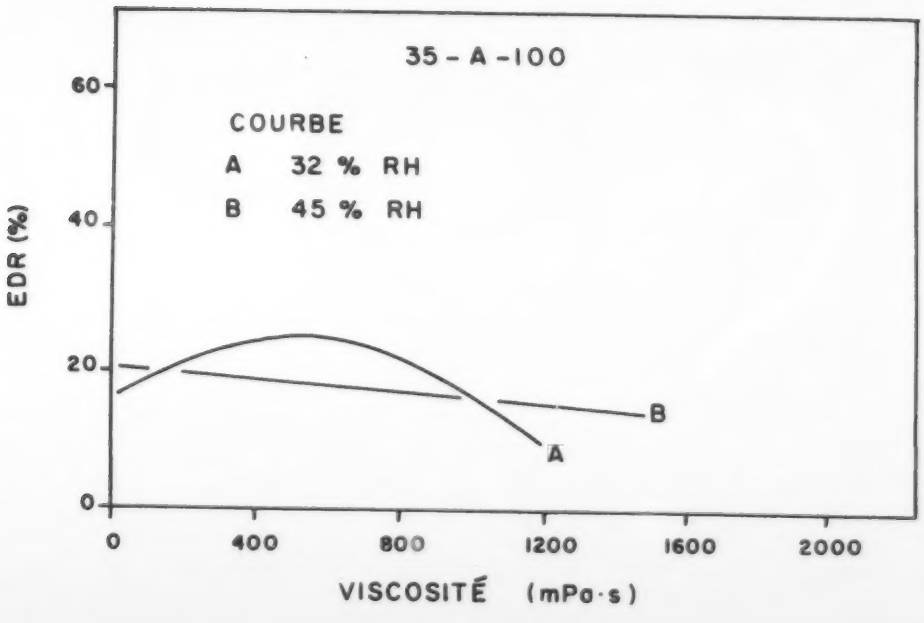

Figure E3. Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur une quantité totale pulvérisée.

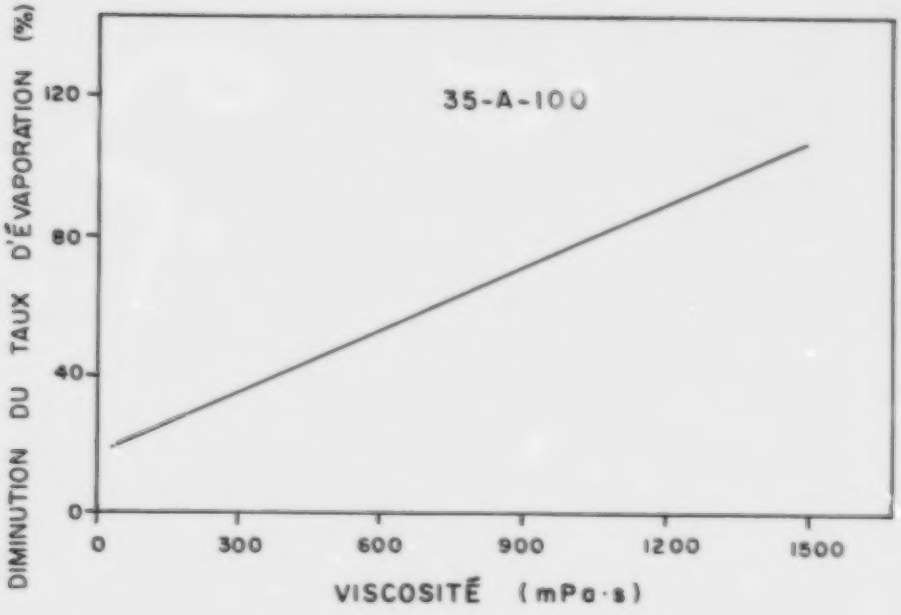

Figure E4. Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport au taux d'évaporation de l'eau (28°C, 45% HR).

I-F

1. Nom: Fire-Trol 937B

2. Fournisseur: Chemonics Industries (Canada) Ltd.
P.O. Box 745
Kamloops (C.-B.) V2C 5M4

3. Propriétés (renseignements fournis par le fabricant):

Ce produit est essentiellement le même que Poly-Trol 200, mais le concentré a été formulé de façon à lui donner des viscosités apparentes plus élevées lorsqu'il est mélangé à de l'eau dure.

4. Caractéristiques extinctrices (déterminées en laboratoire):

Figure F1: Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$)

Figure F2: Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité adhérente exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau

Figure F3: Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur la quantité totale pulvérisée

Figure F4: Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport à l'eau (28°C, 45% HR)

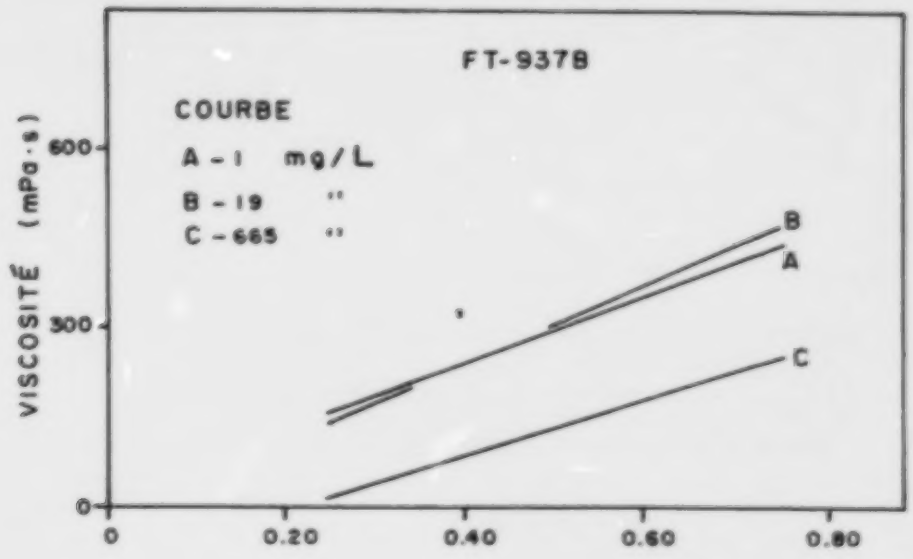

Figure F1. Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 1, 19, et 665 mg/L (en $CaCO_3$).

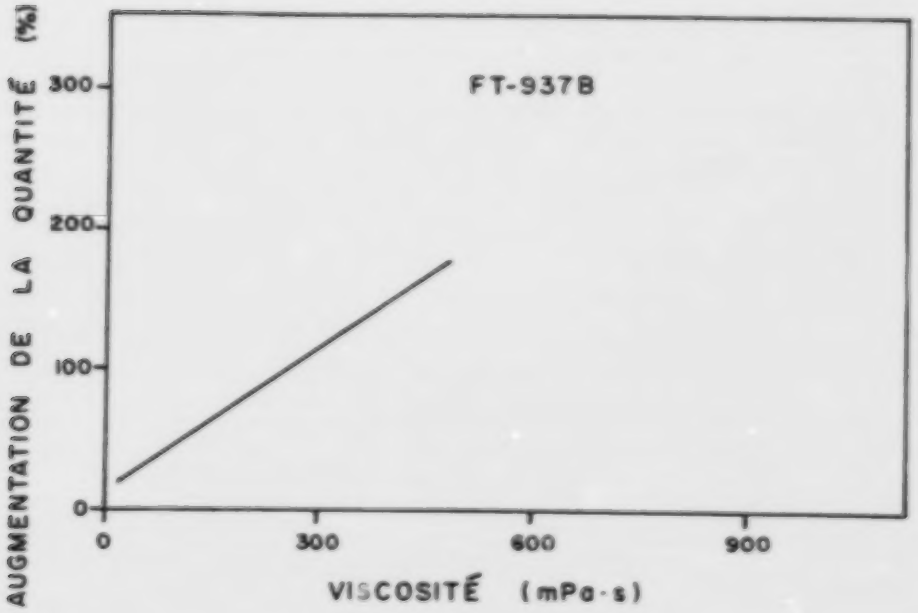

Figure F2. Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité de mélange qui adhère exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau.

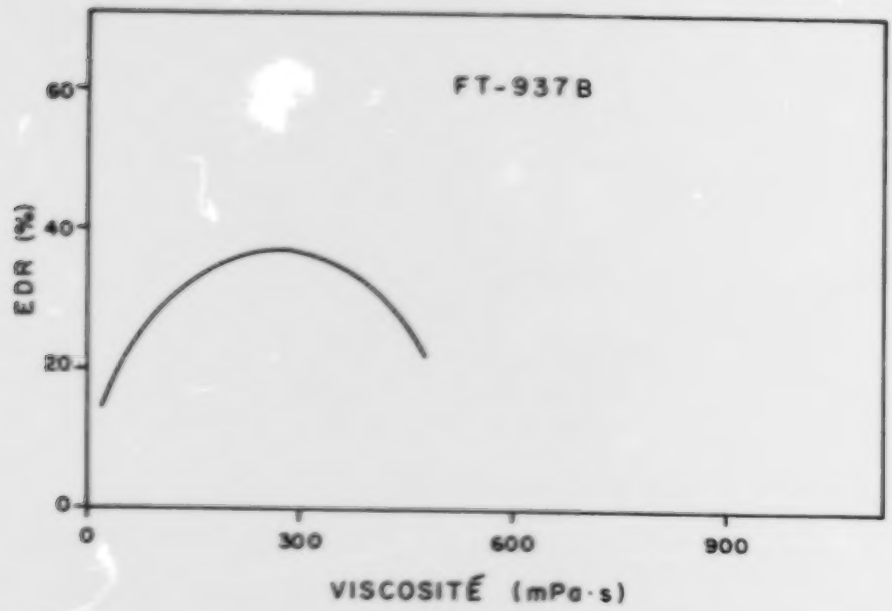

Figure F3. Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur une quantité totale pulvérisée.

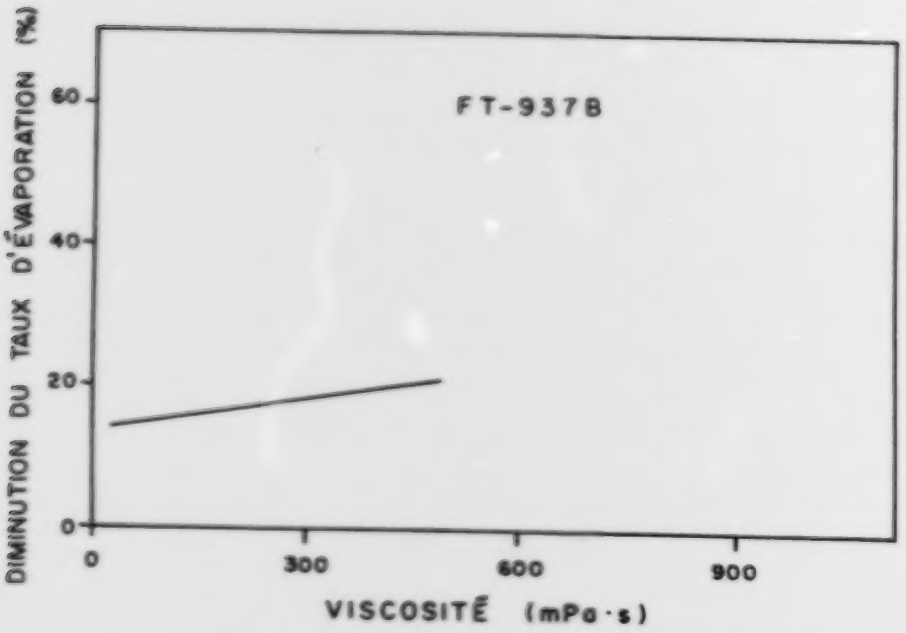

Figure F4. Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport au taux d'évaporation de l'eau (28°C, 45% HR).

I-G

1. Nom: Phos-Chek XB

2. Fournisseur: Monsanto Canada Ltd.
P.O. Box 201
464 Riverside Road
Abbotsford (C.-B.) V2S 3N8

3. Propriétés (renseignements fournis par le fabricant):

a) Mélange ne s'agglomèrant pas dont les composants sont sous forme de poudre ou de granules
b) La corrosion sur l'aluminium et le cuivre ne dépasse pas 0,0254 mm/an
c) Le rapport de dilution pour un usage normal est de 0,137 kg/L
d) Considéré non toxique lorsqu'il est utilisé normalement
e) Prévu pour être épandu par avion-citerne

4. Caractéristiques extinctrices (déterminées en laboratoire):

Figure G1: Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 19 et 665 mg/L (en $CaCO_3$)

Figure G2: Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité adhérente exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau

Figure G3: Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur la quantité totale pulvérisée

Figure G4: Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport à l'eau (28°C, 45% HR)

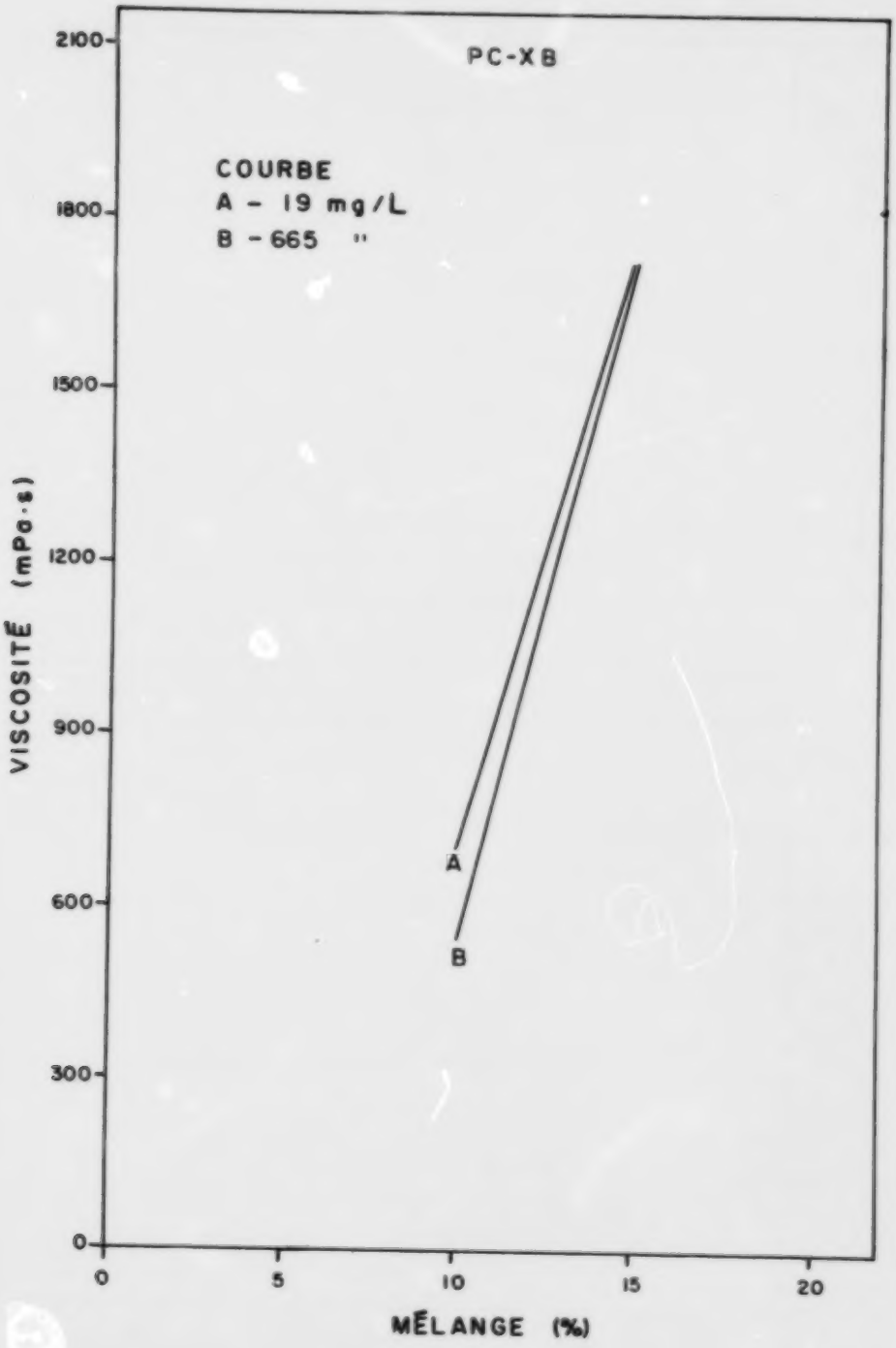

Figure G1. Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 19 et 665 mg/L (en $CaCO_3$).

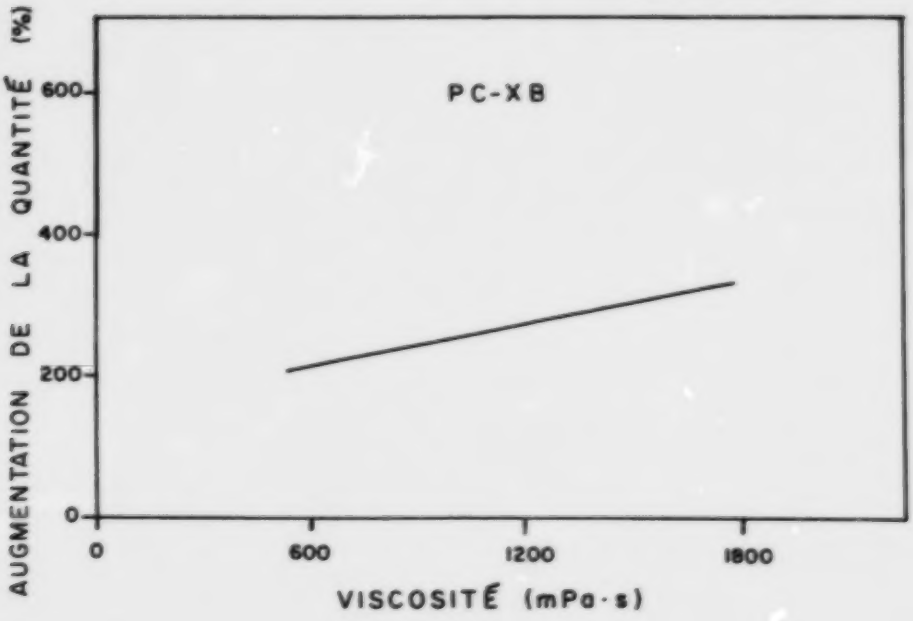

Figure G2. Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité de mélange qui adhère exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau.

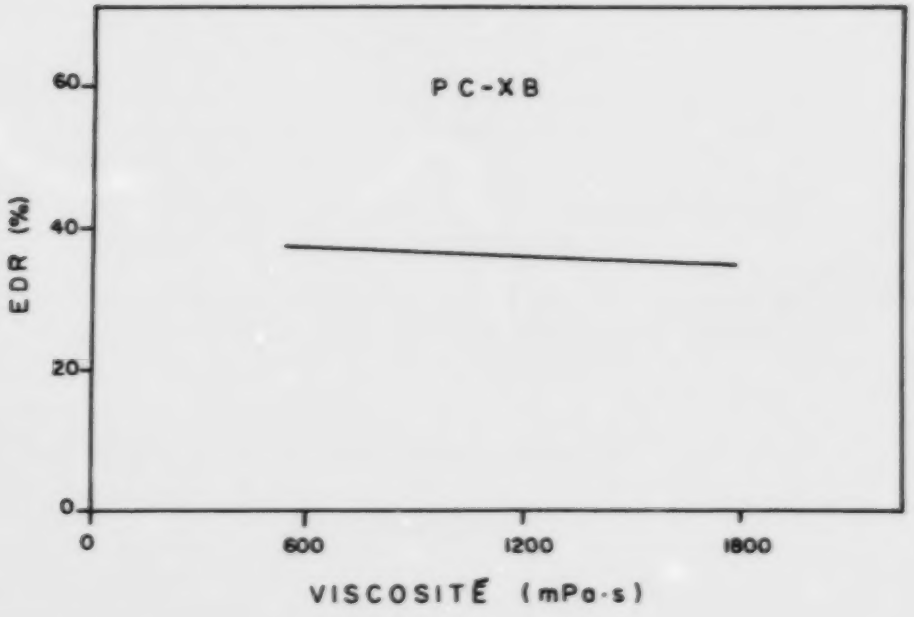

Figure G3. Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur une quantité totale pulvérisée.

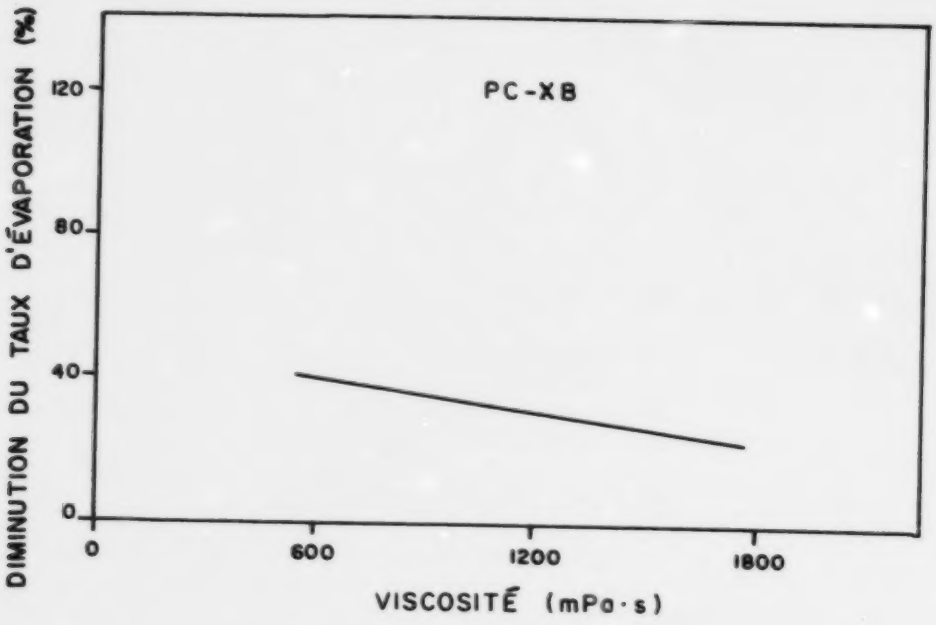

Figure G4. Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport au taux d'évaporation de l'eau (28°C, 45% HR).

I-H

1. Nom: Monsanto STR

2. Fournisseur: Monsanto Canada Ltd.
P.O. Box 201
464 Riverside Road
Abbotsford (C.-B.) V2S 3N8

3. Propriétés (renseignements fournis par le fabricant):

a) Poudre sèche contenant des colorants, des agents de conservation, des conditionneurs d'écoulement et un agent anti-mousse
b) Taux de dilution recommandé: 7,5 g/L
c) Considéré non toxique lorsqu'il est utilisé normalement sous forme sèche ou mélangée
d) Recommandé de le protéger pendant l'entreposage si le produit doit être gardé pendant une longue période ou sous des climats extrêmes
e) Se mélange facilement à l'eau lorsque l'on utilise des systèmes de mélange à agitateur ou injecteur

4. Caractéristiques extinctrices (déterminées en laboratoire):

Figure H1: Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour une dureté de l'eau de 19 mg/L (en $CaCO_3$)

Figure H2: Effet de la dureté de l'eau sur la viscosité apparente de l'eau épaissie

Figure H3: Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité adhérente exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau

Figure H4: Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur la quantité totale pulvérisée

Figure H5: Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport à l'eau (28°C, 45% HR)

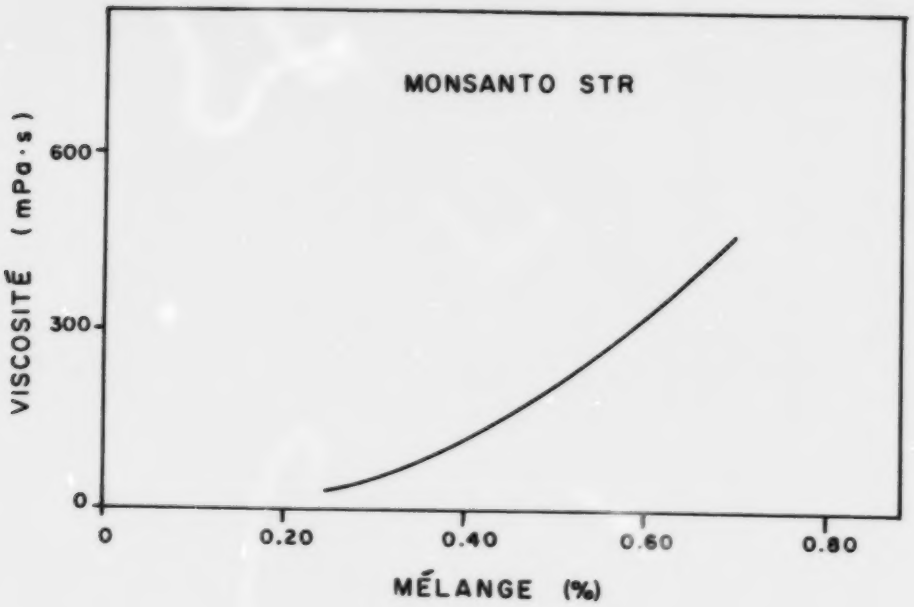

Figure H1. Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour une dureté de l'eau de 19 mg/L (en $CaCO_3$).

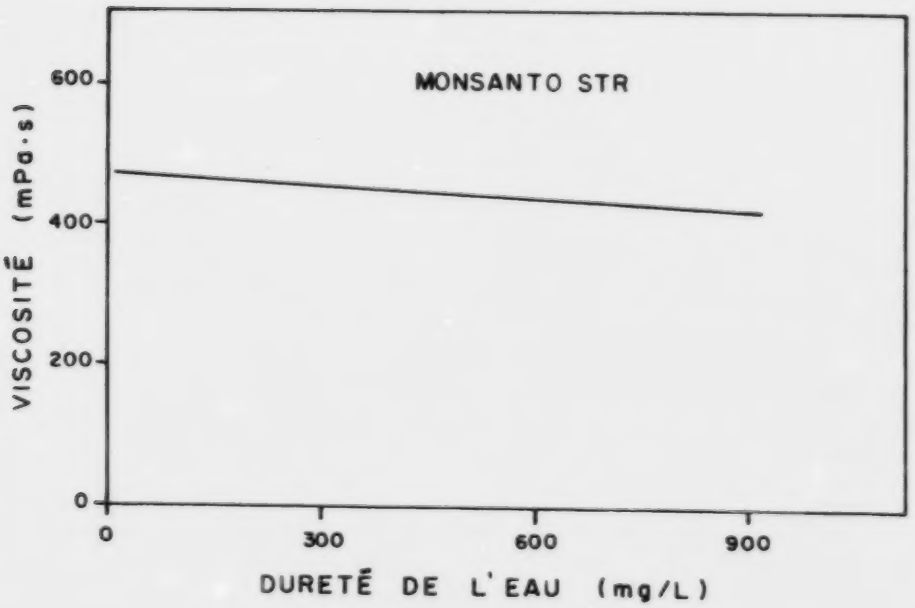

Figure H2. Effet de la dureté de l'eau sur la viscosité apparente de l'eau épaissie.

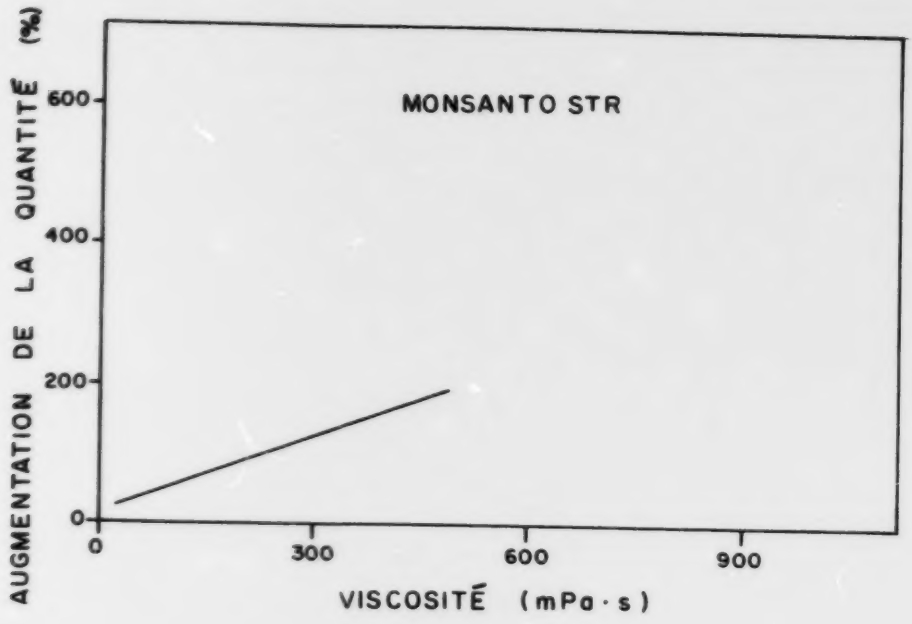

Figure H3. Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité de mélange qui adhère exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau.

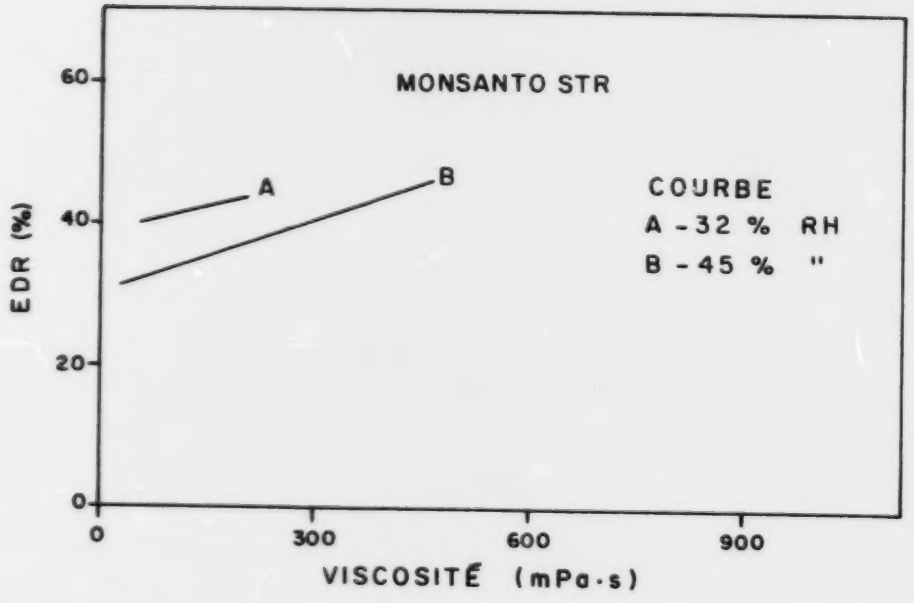

Figure H4. Effet de la viscosité sur le pourcentage de stillation et de coulage basé sur une quantité totale pulvérisée.

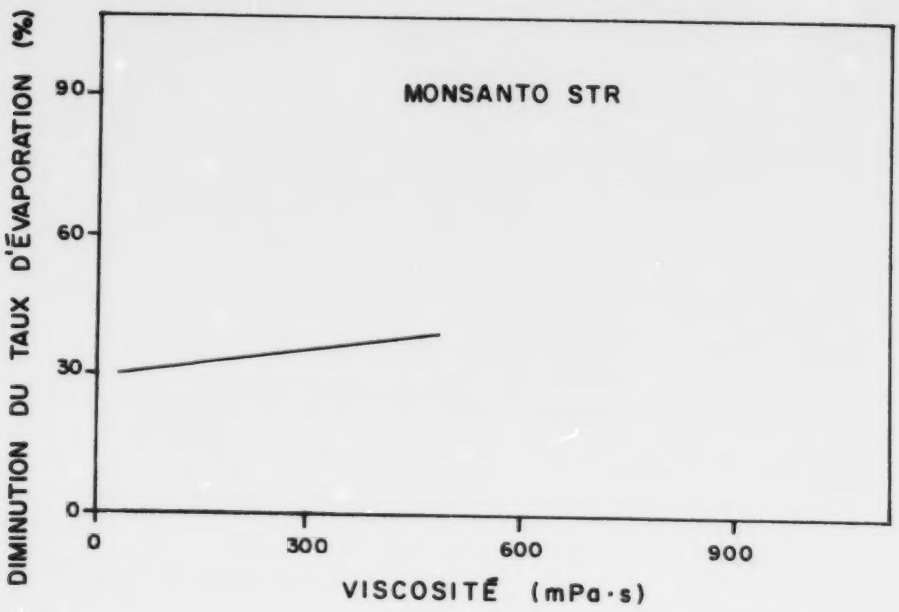

Figure H5. Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport au taux d'évaporation de l'eau (28°C, 45% HR).

I-I

1. Nom: Fire-Trol 100

2. Fournisseur: Chemonics Industries (Canada) Ltd.
P.O. Box 745
Kamloops (C.-B.) V2C 5M4

3. Propriétés (renseignements fournis par le fabricant):

a) Composants sous forme de poudre ou de granules mélangés à sec; ne s'agglomère pas
b) Mélangeur puissant nécessaire pour préparer la bouillie convenablement
c) Corrosion de l'aluminium et du laiton inférieure à 0,0254 mm/an
d) Corrode gravement les alliages de magnésium
e) Taux de dilution recommandé: 0,28 kg/L

4. Caractéristiques extinctrices (déterminées en laboratoire):

Figure I1: Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 19 et 665 mg/L (en $CaCO_3$)

Figure I2: Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité adhérente exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau

Figure I3: Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport à l'eau (28°C, 45% HR)

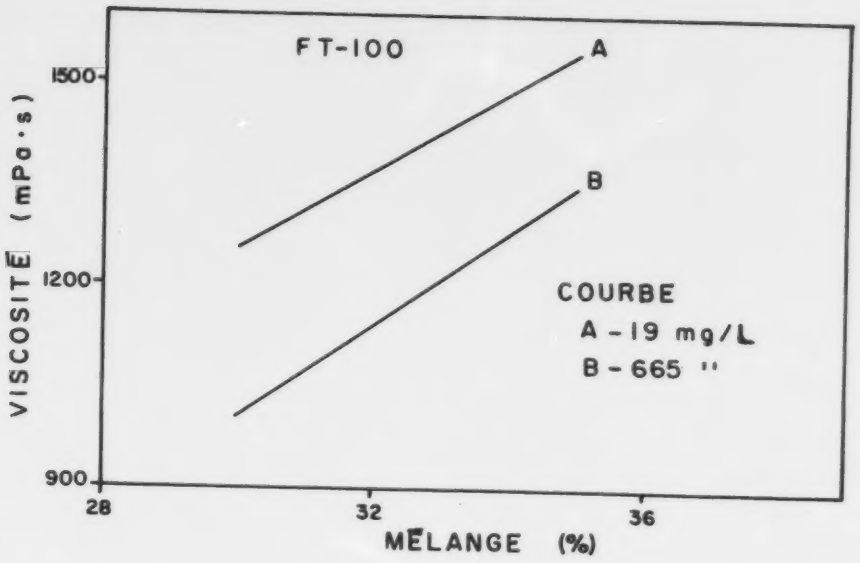

Figure I1. Relation entre la viscosité apparente et le taux de dilution pour des duretés de l'eau de 19 et 665 mg/L (en $CaCO_3$).

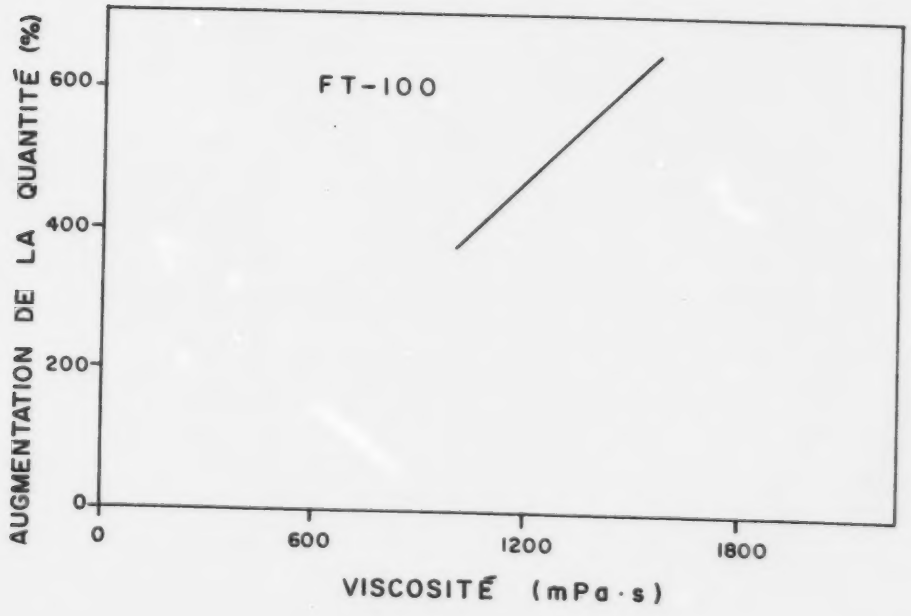

Figure I2. Effet de la viscosité sur l'augmentation de la quantité de mélange qui adhère exprimé en pourcentage d'augmentation par rapport à la quantité d'eau.

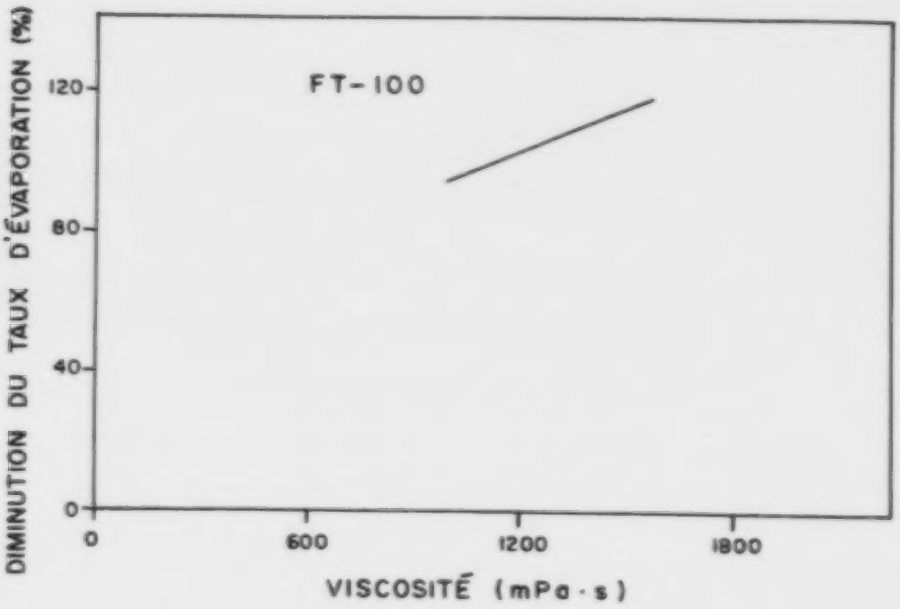

Figure 13. Effet de la viscosité sur la réduction du taux d'évaporation exprimé en pourcentage de diminution par rapport au taux d'évaporation de l'eau (28°C, 45% HR).